



TECHNISCH TALENT  
KRIJGT TOEKOMST  
mechanica/elektriciteit - hout - auto

VERY

TECHNICAL

INDEED

# INDUSTRIËLE WETENSCHAPPEN

## Geluid

Leerling(en):  
Thomas Denoo  
Wouter Simpelare

Mentor:  
Dhr. Verhaeghe D.

Sint-Aloysius | Papebrugstraat 8a, 8820 Torhout

Telefoon: 050 23 15 15 | Fax: 050 23 15 25  
E-mail: [vti@sint-rembert.be](mailto:vti@sint-rembert.be) | Site: <http://vtiweb.sint-rembert.be/>  
Site GIP'S 6IW: [www.gip6iw.be](http://www.gip6iw.be)

# 1 Voorwoord

In dit boek vindt u de geïntegreerde proef van Thomas Denoo en Wouter Simpelaere. Als onderwerp hebben wij “Geluid” gekozen. Dit kregen we aangereikt door onze mentor en klastitularis, namelijk de heer Dirk Verhaeghe. Dit project was in samenwerking met de Hogeschool West-Vlaanderen, departement PIH in Kortrijk. Het is het derde jaar op rij dat deze samenwerking doorgaat en verliep vlot en was zeer leerrijk. Daarom willen wij ook de begeleidende leerkrachten van het PIH bedanken en vooral ook de heer F. D’hulster.

Wanneer we in het begin van het jaar met ons onderwerp begonnen, wisten we er nog niet zo veel van af. We wisten wel enkele basisleerstof, maar daar bleef het ook bij. In het verloop van het jaar hebben we dan veel informatie verzameld. Ook hadden we heel veel aan onze lessen fysica, waar geluid en trillingen een groot deel van de leerstof was. Naarmate we meer en meer begonnen te snappen hoe geluid in elkaar zat, hebben we meer praktische proeven gezocht. Dit vooral naar aanleiding van de opendeurdag. We waren van plan om uit te leggen wat geluid juist is aan de hand van proeven, beginnend bij trillingen en golven en dan overstappen naar geluid. De proefopstelling om dit te verwezenlijken heeft ons dan ook heel wat tijd gekost. Maar alles was op tijd klaar, en de opendeurdag was een succes.

Ook willen wij nog heel wat mensen bedanken. Ten eerste willen wij onze mentor Dirk Verhaeghe van harte danken voor de steun die hij ons het hele jaar door gaf. Vooral bij het opstellen van onze praktische proeven was hij een grote hulp. Zonder hem gingen enkele dingen niet verwezenlijkt kunnen worden. Ook zeker een grote hulp was het PIH-Kortrijk, die ons heeft kennis laten maken met zeer interessante opzichten van geluid. We mogen dan ook zeker de andere leerkrachten van het VTI niet vergeten, die ons informatie hebben gegeven en ons geholpen hebben bij het maken van enkele proefopstellingen. En ten slotte niet te vergeten onze ouders, zonder hen was het zeker niet gelukt. De steun dat ze ons gaven op momenten waar het wat minder ging, de hulp dat ze ons schonken bij het maken van enkele proefopstellingen en vooral ook de financiële kant van onze GIP. Hierbij willen wij al deze mensen bedanken.

## 2 Inhoudsopgave

1	Voorwoord	1
2	Inhoudsopgave	3
3	Inleiding	5
4	Het oor	6
4.1	Opbouw en werking	6
4.1.1	Het uitwendige oor (1)	7
4.1.2	Het middenoor (2)	7
4.1.3	Het binnenoor (3)	8
4.2	Gehoorschade	9
4.2.1	Welke vormen van gehoorschade zijn er?	10
4.3	Frequentieafhankelijkheid van de gevoeligheid van het oor	12
4.4	Foon	12
5	Trillingen	13
5.1	Periodiek verschijnsel	13
5.2	Resonantie	13
5.3	Golftheorie	15
5.3.1	Lopende golven:	15
5.3.2	Transversale golven:	15
5.3.3	Longitudinale golven:	16
5.3.4	Beginsel van Huygens	16
5.3.4.1	Proef met rimpeltank of golfbak	16
5.3.5	Terugkaatsing van golffronten	17
5.3.6	Breking van vlakke golffronten	18
5.3.7	interferentie van golven	18
5.3.8	Golflengte	18
5.4	Golfvergelijking van een lopende golf	19
5.4.1	Voorwaarde opdat een punt P in fase zou trillen met de bron.	21
5.4.2	Terugkaatsing van een puls	21
5.4.2.1	Terugkaatsing van een puls op een vaste wand	21
5.4.3	Terugkaatsing van een puls tegen een losse wand	22
5.4.4	Terugkaatsing van een golf	22
5.4.4.1	Terugkaatsing tegen onvervormbare wand	22
5.4.4.2	Terugkaatsing tegen een vervormbare wand	24
6	Geluid	26
6.1	Wat is geluid?	26
6.2	Verschillende soorten geluid	26
6.2.1	Infrasoon geluid	26
6.2.2	Ultrasoon geluid	27
6.3	Voortplantingssnelheid van geluid.	27
6.3.1	Voortplantingssnelheid van geluid in gassen	27
6.3.2	Voortplantingssnelheid van geluid in vloeistoffen	27
6.3.3	Voortplantingssnelheid van geluid in vaste stoffen (Biot 1800)	27
6.4	Geluidssterkte	29
6.5	Geluidsdruk – Geluidsdrukniveau	30
6.6	Decibel	31
6.7	Doppler effect	32
6.7.1	Bijzondere gevallen met een bewegende bron	34
6.7.2	Toepassing van het doppler effect	34

7	Proeven	37
7.1	het aanmaken van de pvc rimpeltank	37
7.1.1	fase 1: ontwerpen	37
7.1.2	Maken van de excentriek:	37
7.1.3	Interferentie.	39
7.2	Proef op transversale golf.	41
7.3	Proef op longitudinale golf.	41
7.4	Proef van Kundt.	41
7.5	De wieg van Newton	42
7.6	Resonantie	42
8	Bijlage:	43
8.1	Geluidsnormen	43
8.1.1	Koninklijk Besluit van 24 februari 1977 houdende vaststelling van geluidsnormen voor muziek in openbare en private inrichtingen	43
8.1.1.1	Art. 1.	43
8.1.2	Muziek:	43
8.1.3	Achtergrondgeluidsniveau:	43
8.1.3.1	Art. 2.	43
8.1.3.2	Art. 3.	43
8.1.3.3	Art. 4.	44
8.1.3.4	Art. 5.	44
8.1.4	Wet van 18 juli 1973 betreffende de bestrijding van geluidshinder	44
8.1.4.1	Art. 1.	44
8.1.4.2	Art. 2.	45
8.1.4.3	Art. 3.	45
9	Bronnen	46
10	Foto's	46
11	Besluit	57

### 3 Inleiding

In dit boek leggen we het fenomeen “geluid” uit. Aangezien dit een zeer ruim begrip is, kunnen we niet alles in detail bespreken. Daarom bespreken we het fenomeen algemeen. Hierbij beginnen we bij het oor, dan trillingen en golven, daarna bespreken we geluid en ten slotte bespreken we onze proeven.

In het eerste stuk leggen we het oor uit, de werking en dan ook gehoorschade. Hierbij leggen we ook de frequentieafhankelijkheid van de gevoeligheid van het oor uit. Daarna leggen we het begrip foon uit.

Het tweede stuk handelt over trillingen en golven. Hierbij werken we rond de 2 soorten golven en vergelijken we deze met elkaar. Ook bespreken we enkele begrippen zoals resonantie en eigenfrequentie. Daarna bepalen we wat het verschil is tussen terugkaatsing op vaste wand t.o.v. terugkaatsing op een losse kant. Hieruit leiden we dan enkele formules.

Dan schakelen we over naar geluid. De uitleg over wat geluid juist is, hoe men het kan opwekken en waarnemen. Wat het verschil is tussen ultrasoon en infrasoos. Daarna bepalen we de geluidssnelheid in vaste stoffen, in vloeistoffen en in gas. Ook bespreken we begrippen zoals: geluidssterkte, geluidsdruk, geluidsdrukniveau en de decibel. Tot slotte leggen we ook het Doppler effect uit.

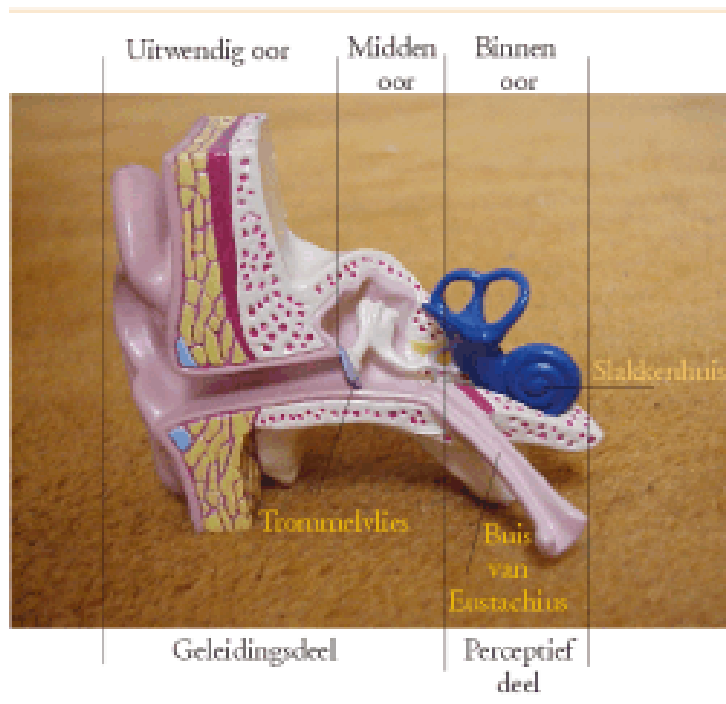
Als laatste hebben we enkele normen voor geluid in ons boek geplaatst en ook onze proeven met enkele foto's van de proefopstelling op de opendeurdag.

Voor iedereen zit er dus wel iets bij, van pure theorie tot mooie proeven.

## 4 Het oor

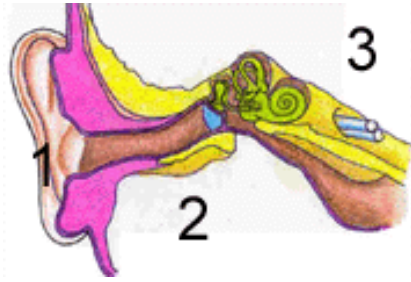
### 4.1 Opbouw en werking

Ons gehoororgaan kunnen we ruwweg indelen in twee delen: een geleidingsdeel en een perceptief deel. In het perceptieve deel wordt de mechanische energie van geluid omgezet in een elektrochemisch signaal dat via de gehoorzenuw naar de hersenschors wordt geleid. In de hersenen speelt het proces van perceptie plaats: hier worden we ons bewust van de aanwezigheid van geluid en vindt de uiteindelijke waarneming ervan plaats.



**Figuur 1: perceptief en geleidings gedeelte van het oor**

Geluid dat een golfverschijnsel is, zorgt ervoor dat het trommelvlies begint te bewegen (oscilleren). Door de beweging van het trommelvlies, worden de beentjes in het middenoor (hamer, aambeeld en stijgbeugel ) op hun beurt in beweging gebracht. De stijgbeugel brengt deze trilling over op het slakkenhuis. In het slakkenhuis wordt een vloeistof in trilling gebracht en doorgegeven aan hele fijne haarcellen. Doordat deze haarcellen gaan bewegen ontstaat er een spanningsverschil wat er toe leidt, dat de zenuw gaat vuren en de gehoorzenuw dit signaal naar de hersenen doorgeeft.



**Figuur 2: opbouw van het oor**

#### 4.1.1 Het uitwendige oor (1)

De oorschelp, de gehoorgang en het trommelvlies vormen het uitwendige oor.. De oorschelp bestaat uit kraakbeen bedekt met een laagje huid. Doordat onze oorschelpen niet beweegbaar zijn, spelen ze slechts een zeer kleine rol bij het richtinghoren.

Het buitenste deel van de gehoorgang bestaat uit kraakbeen, terwijl het binnenste deel van de gehoorgang bestaat uit hard bot. Beiden zijn bekleed met huid.

De gehoorgang is ongeveer 2,5 cm lang en heeft een S-vorm en loopt iets omhoog. In het buitenste gedeelte van de gehoorgang bevinden zich haartjes. Hier bevinden zich ook een aantal kliertjes die oorsmeer afscheiden. Het oorsmeer bindt stof en vuil aan zich dat samen met het oorsmeer door de haartjes langzamerhand naar buiten wordt gebracht.

#### 4.1.2 Het middenoor (2)

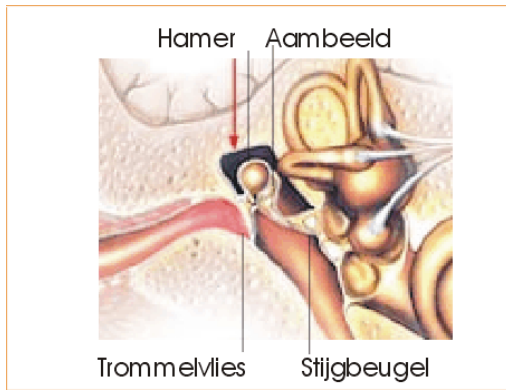
Aan het einde van de gehoorgang bevindt zich het trommelvlies waarmee het middenoor begint.



**Figuur 3: Het trommelvlies**

Aan het trommelvlies zit de steel van de hamer vast, die op zijn beurt weer aan het aambeeld en de stijgbeugel vast zit. Deze drie worden ook wel de gehoorbeentjes genoemd. Deze beentjes zijn scharnierend aan elkaar verbonden en zorgen ervoor dat geluidstrillingen die op het trommelvlies terecht komen naar het binnenoor worden getransporteerd.

De stijgbeugel zit op zijn beurt weer vast aan het ovale venster: de voordeur van het binnenoor.



**Figuur 4: het middenoor**

De holte waarin de gehoorbeentjes liggen wordt ook wel de trommelholte genoemd en is met lucht gevuld. Deze holte staat door middel van de buis van Eustachius in verbinding met de buitenlucht.

Het middenoor, waarin de hamer, het aambeeld en de stijgbeugel zich bevinden, moet er nu voor zorgen dat dit geluid zonder al te veel verlies van energie omgezet wordt in een trilling van de vloeistof in het slakkenhuis. Een probleem daarbij is dat het binnenkomend geluid over moet gaan van lucht naar een vloeistof. Boven een vloeistof treedt een grote mate van reflectie op, waardoor energie verloren gaat.

Om komaf te maken met dit probleem is het middenoor als volgt opgebouwd:

- De oppervlakte van de voetplaat van de stijgbeugel is vele malen kleiner dan het trommelvlies. Hierdoor wordt de druk op de vloeistof in het binnenoor 30 maal zo groot als de geluidsdruk op het trommelvlies.
- Er treedt een versterkende werking op door de hefboomfunctie van de gehoorbeentjes. De beweging bij het ovale venster is weliswaar kleiner, maar de uitgeoefende kracht is groter.

### 4.1.3 Het binnenoor (3)

Het binnenoor is een met vloeistof gevulde ruimte gelegen in het rotsbeen. Het binnenoor bestaat anatomisch gezien uit drie onderdelen: het vestibulum, de halfcirkelvormige kanalen en de cochlea ook wel het slakkenhuis genoemd.

In het ovale venster, één van twee openingen van het vestibulum, valt de voetplaat van de stijgbeugel. De tweede opening is het ronde venster.

De halfcirkelvormige kanalen vormen samen met twee holtes in het vestibulum het evenwichtsorgaan.

De halfcirkelvormige kanalen zijn in staat draaiingen van het lichaam te registreren. De twee holtes, de sacculus en de utriculus zijn voorzien van kleine orgaantjes. Deze orgaantjes verzorgen gezamenlijk de waarneming van versnellingen.

De cochlea (het slakkenhuis) is het orgaan dat verantwoordelijk is voor de geluidswaarneming. Zie figuur 5, met O=ovale venster; R=ronde venster.





**Figuur 5: Cochlea van een foetus, waarbij het benige gedeelte is verwijderd.**

Wanneer geluid de vloeistof van het slakkenhuis bereikt, treedt daar vervolgens een trillingsgolf op. De benige wand van het slakkenhuis is echter niet flexibel en de vloeistof die zich erin bevindt is niet samen te persen. Een drukgolf die via de stijgbeugel het ovale venster naar binnen duwt, zorgt ervoor dat het ronde venster naar buiten wordt gedrukt.

Door de drukgolf wordt het bacillaire membraan dat zich in het slakkenhuis bevindt in trilling gebracht. Hierdoor komen de heel fijne haarcellen in beweging. Door deze beweging ontstaat een elektrische potentiaal dat vervolgens doorgegeven wordt via de gehoorzenuw aan de hersenen.

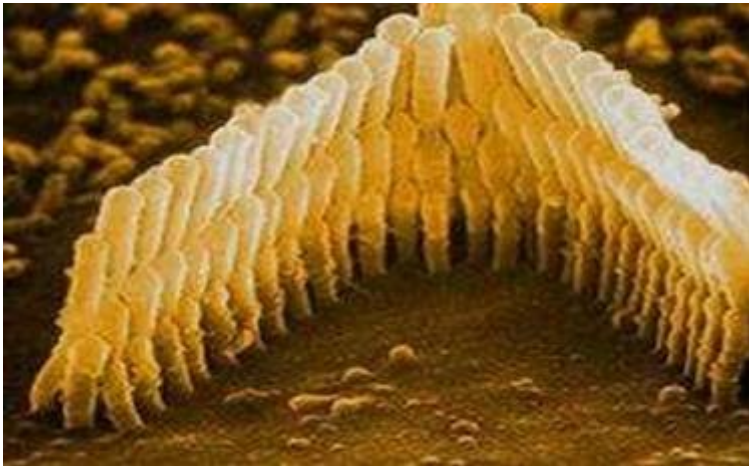
## 4.2 Gehoorschade

Gehoorschade is het ontstaan van schade aan het gehoor (doofheid) door bijvoorbeeld een te lange de blootstelling aan lawaai. Gehoorschade kan ook door bepaalde ziekten ontstaan. Gehoorschade kan geconstateerd worden door een audiogram te bepalen met behulp van een audiologisch onderzoek.

Oorspronkelijk waren het voornamelijk mensen die door hun beroep veel aan hoge geluidsniveaus blootstonden (arbeiders enz.), die met gehoorschade te kampen kregen, tegenwoordig is het vooral het frequent beluisteren van heel luide muziek (in discotheken, thuis, met mp3's, enz.) waardoor mensen (vaak jongeren) dergelijke schade oplopen.

Door regelmatige blootstelling aan schadelijke geluiden loop je als persoon risico op verschillende vormen van gehoorschade. Soms gaat het om tijdelijke gehoorproblemen, vergelijkbaar met het verschijnsel dat optreedt na een avondje disco: je hebt last van 'suisende' of 'tuitende' oren, waardoor je een tijdje minder goed kan horen.

Dit fenomeen is het eerste teken dat er haarcellen in het slakkenhuis kapot zijn gegaan. Net zoals graan kan knakken door te harde wind, zo kunnen haarcellen breken door te hard geluid.



Figuur 6: haarcellen in een gezond oor



Figuur 7: beschadigde haarcellen

Bron beide foto's: dr. J.O. Pickles, University of Queensland, Brisbane, Australia, 2002

#### 4.2.1 Welke vormen van gehoorschade zijn er?

-tinnitus ofwel oorsuizen, waarbij je geluid hoort (bijvoorbeeld gepiep, gefluit of gebrom) dat niet afkomstig is van de omgeving maar dat in het oor zélf ontstaat. Het vervelendste van tinnitus is dat je dit geluid niet kunt 'uitzetten', in het ergste geval verdwijnt het nooit uit het oor, ook 's nachts niet. Dit kan haast gekmakend zijn.

-hyperacusis: een sterk verhoogde gevoeligheid van de oren voor (scherpe) geluiden, die hinderlijk hard klinken doordat de pijngrens voor hard geluid aanzienlijk lager ligt. In een gezond oor ligt die grens tussen de 130 en 140 decibel, maar bij mensen met hyperacusis kan dat teruglopen tot 80 à 90 decibel. Daardoor klinken geluiden die een gezonde persoon 'normaal' vindt voor een hyperacusis-patiënt pijnlijk hard.

-diplacusis, waarbij je toonhoogtes met het linkeroor anders waarneemt dan met het rechteroor; je interpreteert die tonen ‘verkeerd’. Bij langdurige blootstelling aan te hard geluid — en overigens ook naarmate je ouder wordt — verslechtert in eerste instantie de waarneming van hoge tonen. Dit komt doordat in het slakkenhuis de meeste energie (of beter: de sterkste geluidstrillingen) vooraan in dit labyrint binnenkomen; dat is precies de plek waar de haarcellen liggen die voor de verwerking van hoge tonen zorgen. De haarcellen die de lage tonen verwerken liggen dieper in het slakkenhuis en zijn daardoor beter beschermd tegen sterke trillingen. Voor de duidelijkheid: het is dus niet zo dat de toonhoogte van het geluid dat gehoorschade veroorzaakt overeenkomt met het slechter horen van diezelfde tonen.

-distortie, waarbij je tijdelijk of blijvend geluiden vervormd waarneemt.

-‘cocktail party-effect’: een sterk verschillende gevoeligheid tussen het linker- en rechteroor, waardoor je in ruimtes met achtergrondgeluid specifieke geluiden moeilijk kunt onderscheiden. In het normale sociale verkeer kan dit heel lastig zijn, omdat het een stuk lastiger wordt om een gesprek goed te volgen.

### 4.3 Frequentieafhankelijkheid van de gevoeligheid van het oor

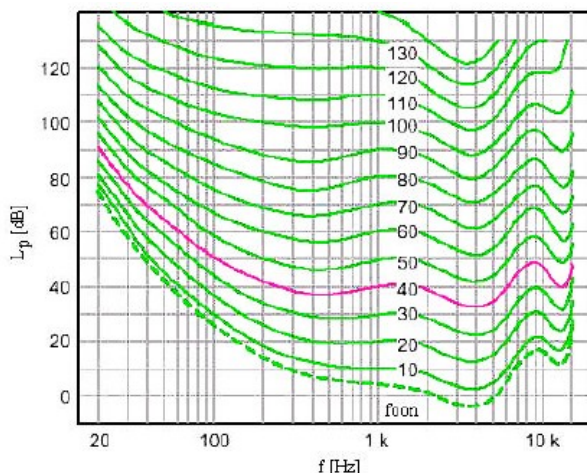
De gevoeligheid van het menselijk oor hangt af van de frequentie. Frequenties lager dan 20 Hz zijn onhoorbaar en worden infrasoone genoemd. Frequenties boven 20000 Hz zijn eveneens onhoorbaar en worden ultrasoon genoemd. Deze grenzen van het hoorbare geluid zijn niet abrupt. Er is een graduele afname van de gevoeligheid van ons oor naarmate de geluidsfrequentie deze limieten nadert. Bovendien is de gevoeligheid afhankelijk van persoon tot persoon. Toch is het mogelijk een gemiddelde gevoeligheid af te leiden bijvoorbeeld voor jonge mensen met een gezond gehoor. Met luidheid bedoelen we de ervaring van geluid. De luidheid in foon wordt geïntroduceerd om de fysische geluidsdruk om te zetten in een grootte, die de ervaring beter benadert. Bij het meten van geluid was deze nauwkeurig, maar niet zo geschikt. Daarom werden benaderde wegingen ingevoerd. Merk op dat een mens ook een verandering van frequentie van het geluid op een welbepaalde manier ervaart.

### 4.4 Foon

We onderzoeken de relatie tussen luidheid en frequentie. Fletcher en Steinberg (1924) en Fletcher en Munson (1933) blijken de eerste experimenten te hebben uitgevoerd om het geluidsdrukniveau te meten van zuivere tonen met verschillende frequenties die bij de mens even luid overkomen. Fletcher en Munson gebruikten een 1000 Hz zuivere toon van gekend geluidsdrukniveau als standaard tegenover welke de zuivere tonen met andere frequenties beoordeeld worden wat betreft luidheid. Door deze experimenten uit te voeren voor tonen van verschillende frequenties en geluidsdrukniveaus worden de curven bekomen van alle punten in overeenstemming met een geluid dat de mens even luid beoordeelt als een 1000 Hz toon van een bepaald geluidsdrukniveau.

Deze lijnen noemen we isofonen.

- Een isofoon wordt gekenmerkt door een foon-waarde, die overeenkomt met het geluidsdrukniveau bij 1000 Hz. Voor een 1000 Hz toon met een geluidsdrukniveau van b.v. 40 dB spreken we van een isofoon van 40 foon.
- De foon is de eenheid voor het luidheidsniveau.
- De isofoon van 0 foon is de hoorbaarheidsgrens, de pijngrens ligt in de omgeving van de isofoon van 120 foon.



Figuur 8: isofonen

## 5 Trillingen

### 5.1 Periodiek verschijnsel

Een verschijnsel is periodiek wanneer telkens dezelfde toestanden worden doorlopen in dezelfde tijd en in dezelfde omstandigheden.

- 1. De periode (T) is de duur van een cyclus. De periode wordt uitgedrukt in seconden.
- 2. De frequentie (f) is het aantal cyclussen per seconde, of nog het aantal perioden per seconde

Hieruit volgt:

$$f = \frac{1}{T}$$

De eenheid van de frequentie is dus (1/s), per seconde. Deze eenheid draagt de naam hertz (Hz).

De eenvoudigste trilling is de harmonische trilling zonder demping. Deze trilling treedt op bij een systeem dat voldoet aan de Wet van Hooke. Deze wet geldt voor vrijwel alle fysische systemen, zolang de verplaatsing niet te groot is. De verplaatsing bij deze trilling, gezien in de tijd, heeft de vorm van een sinus. De verplaatsing van deze trilling  $x$  wordt als functie van de tijd  $t$  gegeven door:

$$x(t) = A \sin(\omega t)$$

Hierin is:

$A$  = de maximale uitwijking van de drukgolf boven de evenwichtstoestand.

Met andere woorden, de amplitude.

$\omega$  = de frequentie van de trilling in radialen per seconde.  $\omega = 2\pi f$ , waarin  $f$  de frequentie is in Hertz.

$t$  = de tijd in seconde

### 5.2 Resonantie

Resonantie kan optreden bij bijna elke bestaand voorwerp. Bij voorwerpen met een kleine demping binnenin, zoals een voorwerp van metaal of glas is resonantie sterker dan bij een voorwerp met grote demping intern ( zoals hout ).

Resonantie treedt op bij bepaalde frequenties, namelijk bij de eigenfrequenties of natuurlijke frequenties. Dit zijn frequenties waarbij in het object een staande golf kan optreden. Het zijn ook de frequenties die spontaan ontstaan als het object door een korte tik wordt aangeslagen. Als een kerkklok bijvoorbeeld wordt aangeslagen door de klepel, gaat deze trillen met zijn eigenfrequenties, en juist ook bij die frequenties veel geluid uitstralen. Door de aanslag gaat de klok bij alle frequenties trillen, maar alleen

de eigenfrequenties blijven lang hoorbaar, de trillingen bij de andere frequenties sterven snel uit.

Met andere woorden. Resonantie ontstaat als een systeem wordt aangestoten met een frequentie die gelijk is aan één van de eigenfrequentie. Zelfs als de aanstoting zeer gering is, zal het object sterk gaan trillen. Buiten de resonantie frequenties zal het systeem slechts weinig trillen. Tijdens resonantie is de amplitude van de trilling veel groter dan buiten de resonantie.

Praktische uitwerking zie proeven

### 5.3 Golftheorie

De Griekse filosoof Chrysippus kwam in het jaar 240 voor Christus op het idee dat geluid wel eens ongeveer hetzelfde kon zijn als de golven die in het water te zien zijn. Tweeduizend jaar later beschreef Newton in zijn Principia precies hetzelfde, maar dan beter geformuleerd. Niet iedereen was het daar echter mee eens: Gassendi had een alternatieve geluidstheorie waarbij het geluid uit deeltjes bestond, vergelijkbaar met de fotontheorie voor elektromagnetische straling. Verschillende verschijnselen (geluid buigt bijvoorbeeld op hoeken, net als watergolven) wijzen op het juist zijn van de golftheorie voor geluid.

Golven worden ook onderverdeeld in twee types: transversale en longitudinale, naar gelang de richting van de oscillaties ten opzichte van de richting waarin de golf zich voortplant.

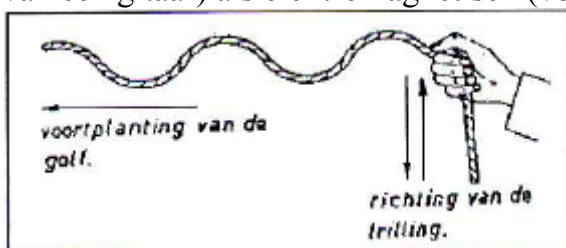
#### 5.3.1 Lopende golven:

Laten we een steen in het water van een vijver vallen. We zien dadelijk concentrische cirkelvormige rimpels ontstaan die wij golven noemen. Deze golven breiden zich geleidelijk uit. Na een zekere tijd komt het water weer tot rust. De storing plant zich dus over het wateroppervlak voort en geeft aanleiding tot een lopende golf.

De wijze waarop de golf zich voortbeweegt noemen we: golfbeweging. Bevindt zich een licht voorwerp, bijvoorbeeld een stukje kurk, op de doorgang van de golf dan zien wij dat dit stukje ter plaatse een op- en neer beweging uitvoert, die loodrecht op de voortplantingsrichting van de golf staat. Wij hebben hier te maken met een transversale golfbeweging. Het stukje kurk, en al de waterdeeltjes die door de golf getroffen worden, trillen ter plaatse. Hieruit besluiten we dat het alleen de storing is die wordt voortgeplant. We zullen dus een onderscheid moeten maken tussen de snelheid van een trillend waterdeeltje, trilsnelheid, en de voortplantingssnelheid ( $v$ ) van de golfbeweging.

#### 5.3.2 Transversale golven:

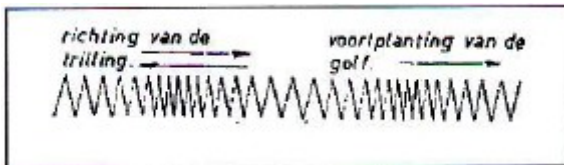
Bij transversale golven gebeurt de oscillatie loodrecht op de voortplantingsbeweging van de golf zelf. Een transversale golf kan zowel mechanisch (vb. de golf op de snaar van een gitaar) als elektromagnetisch (vb. licht) zijn.



Figuur 9: Transversale golven

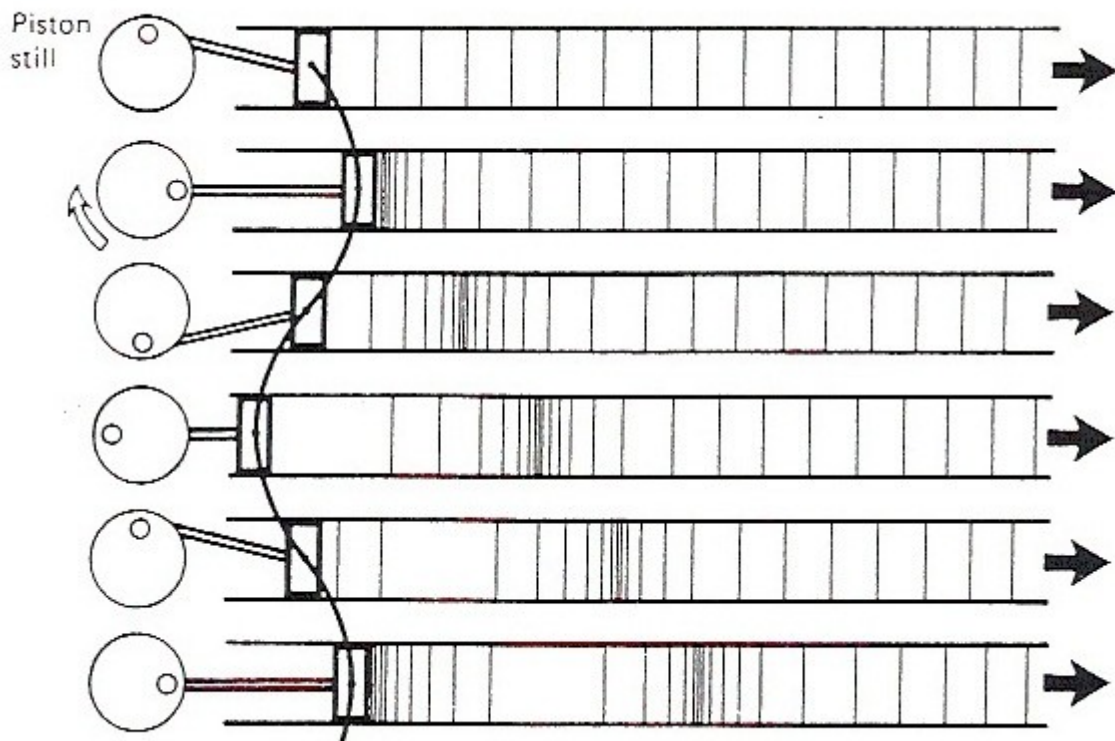
### 5.3.3 Longitudinale golven:

Bij longitudinale golven gebeurt de oscillatie evenwijdig aan de voortplantingsrichting van de golf. Een longitudinale golf is altijd mechanisch omdat ze ontstaat door opeenvolgende verdichtingen en verdunningen van de materie waarin de golf beweegt. Een typisch voorbeeld van dit soort golven zijn de geluidsgolven. Geluid plant zich voort via staande longitudinale golven.



**Figuur 10: Longitudinaal golven**

Het maken van een longitudinale golf kan men ook zien als volgt



**Figuur 11: maken van logitudionale golven**

Een vergelijking tussen de 2 soorten golven: zie bijlage.

### 5.3.4 Beginsel van Huygens

Omstreeks 1680 bedacht de Nederlander Christiaan Huygens ( 1629- 1695) een eenvoudige manier om het voortplanten van een golf te beschrijven.

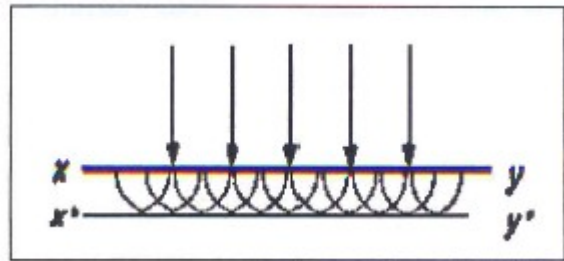
#### 5.3.4.1 Proef met rimpeltank of golfbak

De rimpeltank bestaat uit een ondiepe bak, waarin men een dun laagje vloeistof giet. Als trillingsbron gebruikt men een systeem dat zeer regelmatige en constante trillingen



opwekt. Als de bodem van de rimpeltank in doorzichtig materiaal is gemaakt, dan kan men een stroboscopische lamp die in fase flitst met de trillingsbron eronder plaatsen. Dan ziet men een stilstaand beeld van de golven. Op de horizontale trillingsstaaf bevestigen we een dobber zo dat de punt in het midden van de tank net onder het water steekt. Daar de voortplantingssnelheid in een homogeen midden in alle richtingen even groot is, zullen al de deeltjes die op een cirkel rond de dobber liggen in fase trillen. Deze deeltjes noemen we een golffront. Alle golffronten zullen dus concentrische cirkels zijn. Nu zetten we de puntbron aan de zijkant van de tank en brengen we ongeveer in het midden een obstakel aan waar een spleet in zit. De cirkelvormige golven, door de trillende dobber uitgezonden, breiden zich in alle richtingen uit. Beschouwen wij de uitbreiding van de golf in de richting van de golfstraal OS; het golffront AB bereikt de spleet en geeft daar het ontstaan aan een nieuwe reeks cirkelvormige golven die achter het obstakel voortlopen.

In een homogeen midden, waar de voortplantingssnelheid dezelfde is in alle richtingen, zullen na een zeker tijdsinterval de golffronten van de elementaire golven zo gevorderd zijn, dat hun omhullende een nieuw golffront  $X'Y'$  vormt, gelijkvormig met  $XY$ , dus ook cirkelvormig. Op dezelfde manier zal dan elk punt van het nieuw golffront  $X'Y'$  een uitgangspunt zijn van elementaire golven, en het proces gaat verder. Daar in een homogeen midden alle golffronten van een golvenstelsel gelijkvormig zijn, zal een rechthoekig golffront blijven. Zo ook zullen alle golffronten van een sferische golfbeweging concentrische boloppervlakken zijn.



Besluit: Elk punt dat getroffen wordt door een primaire golfbeweging wordt op zijn beurt een trillingsbron en meteen ook de oorzaak van een secundaire golfbeweging. Zie proeven

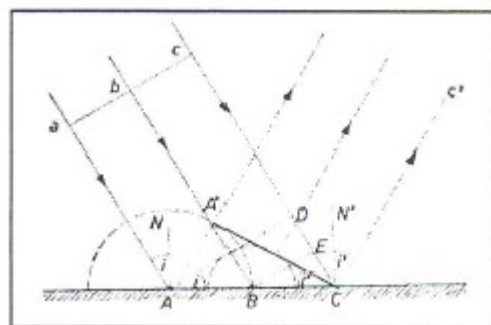
### 5.3.5 Terugkaatsing van golffronten

Wij laten de trillingsstaaf van de rimpeltank vlakke golven uitzenden. Op de doortocht van deze golven brengen wij een vaste hindernis aan die een hoek van  $45^\circ$  insluit met de richting van de golfstralen. De teruggekaatste golffronten hebben dezelfde voortplantingssnelheid en dezelfde golflengte als de invallende golven. Daarbij staan de teruggekaatste golffronten loodrecht op de invallende. De twee golfsystemen interfereren.

Naast staande figuur geeft een stroboscopische opname van het interferentie beeld.

Verklaring voor het geval van een willekeurige invalshoek  $i$ .

Beschouwen wij het vlakke golffront  $a b c$  op het ogenblik dat de golfstraal  $a$  op de hindernis aankomt. Laat  $A$  het invalspunt zijn en  $AD$  het beschouwde golffront. Van  $A$  gaat een

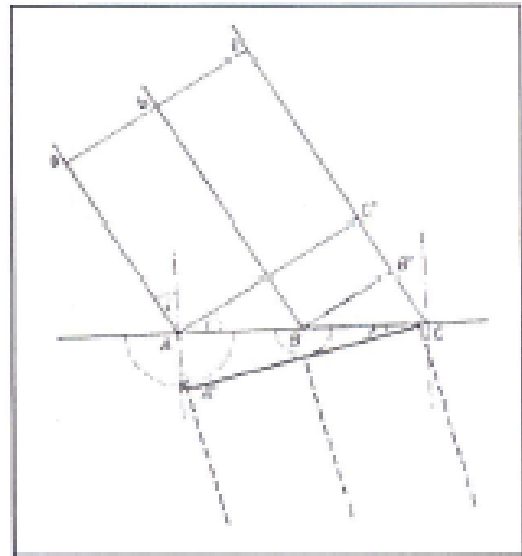


teruggekaatste elementaire golf uit. Een ogenblik later zal de golfstraal b de hindernis bereiken in B, vanwaar eveneens een elementaire golf uitgaat. Nog een ogenblik later bereikt de golfstraal c de hindernis in C. Op dit laatste ogenblik is de straal van de elementaire golf uitgaande van A gelijk aan DC en die van de elementaire golf uitgaande van B is gelijk aan EC. De afstanden DC en EC zijn immers gelijk aan de lengten die de golfstralen a en b respectievelijk hebben doorlopen na hun terugkaatsing op de hindernis. Op het ogenblik dat de golfstraal c de hindernis raakt is het teruggekaatste golffront dus CA' en de teruggekaatste golfstraal: AA', BD en CC'. Ze liggen met de normaal CNN' in een zelfde vlak. Wij kunnen nu bewijzen dat de invalshoek i en de hoek van terugkaatsing i' gelijk zijn.

Hoek i: hoek CAD en hoek i' = hoek ACA', daar hun benen respectievelijk loodrecht op elkaar staan. Uit de congruentie van de rechthoekige driehoeken ACA' en ACD volgt verder:  $i = i'$

### 5.3.6 Breking van vlakke golffronten

Laat a b c een vlak golffront zijn dat invalt op de scheidingslijn van twee oppervlakken met verschillende voortplantingssnelheid voor golven. Wij noemen  $v_1$  de voortplantingssnelheid van de golven in het eerste midden en  $v_2$  de voortplantingssnelheid in het tweede midden. Wanneer de golfstraal a de brekingslijn treft in A, wordt de golfstraal gebroken en van uit A plant zich een elementaire golf voort in het tweede midden. Een ogenblik later zal de golfstraal b de brekingslijn bereiken in B, gebroken worden en vanuit B zal eveneens een elementaire golf zich in het tweede midden voortplanten. Nog een ogenblik later, dit is het tijdsverloop t nadat het golffront in A aankwam, bereikt de golfstraal de brekingslijn. De golffront in het 2<sup>de</sup> midden is de omhullende van de cirkels. Zie fig.



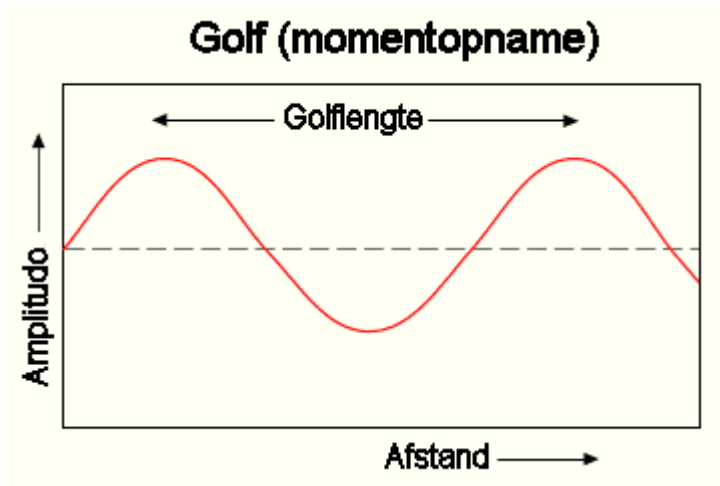
### 5.3.7 interferentie van golven

Zie proeven.

### 5.3.8 Golflengte

De afstand afgelegd door een golf gedurende een periode van de storende trilling noemen we de golflengte. De snelheid waarmee de storing zich voortplant, noemden we reeds de voortplantingssnelheid van de golf. In een homogene middenstof is de voortplantingssnelheid een constante waarde. Deze snelheid is de afstand door de golf doorlopen per tijdseenheid.

Is  $v$  de golfsnelheid,  $T$  de periode en  $\lambda$  de golflengte dan is:  $\lambda = vT = \frac{v}{f}$



Figuur 12: golf

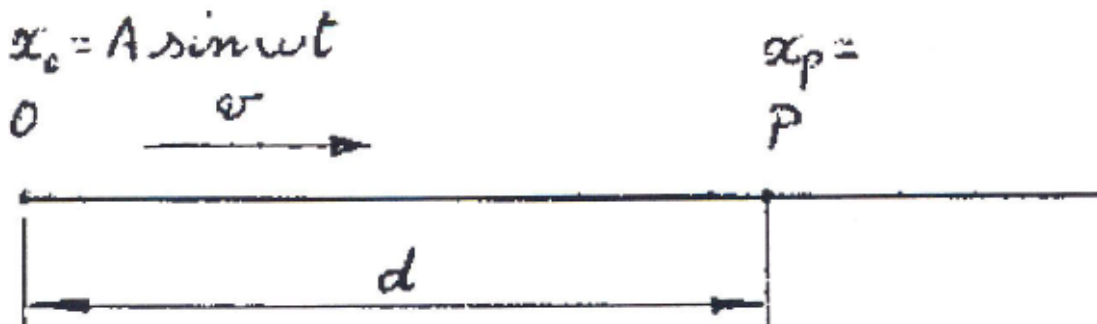
### 5.4 Golfvergelijking van een lopende golf

We beperken ons tot de één dimensionale golven, opgewekt door een harmonische trilling. Verder nemen we aan dat de golf geen energie verliest.

Stel, de elongatie van het punt 0 wordt gegeven door:

$x = A \sin \omega t$  men spreekt over een punt.

We zoeken nu de elongatie van een willekeurig punt van het touw welke zich op een afstand  $d$  van het punt 0 bevindt.



Figuur 13: lopende golf

Als de golf zich verplaatst van het punt 0 naar het punt p zal de golf het punt p een tijd  $t$  later bereiken. Dus als het punt 0 een tijd  $t$  trilt, dan trilt punt p nog maar gedurende een Tijd  $t - \Delta t$ . Daar er geen energie verlies is, is de amplitude van alle punten dezelfde.

De elongatie van het punt p kunnen we als volgt schrijven:

$X_p = A \sin \omega (t - \Delta t)$

Daar de golf zich eenparig voortplant met een snelheid  $v$  is de afstand 0 tot p gelijk aan:

$$d = v \Delta t \quad \Delta t = \frac{d}{v} \lambda$$

$$\text{zodat } X_p = A \sin \omega \left( t - \frac{d}{v} \right) = A \sin \frac{2\pi}{T} \left( t - \frac{d}{v} \right)$$

$$X_p = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d}{\lambda} \right)$$

Deze vergelijking toont aan, dat de uitwijking van een deeltje P, dat door een golf getroffen wordt, afhankelijk is van de tijd  $t$  en van de afstand  $d$  tot de trillingsbron.  
Bespreking:

1. Kijken we naar een bepaald punt, d.w.z. de afstand  $d$  heeft een bepaalde waarde  $d'$ . De uitdrukking voor de golf herleidt zich dan tot:

$$X_p = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d'}{\lambda} \right)$$

In deze uitdrukking komt nog slechts één veranderlijke voor: de tijd  $t$ . Ze stelt een harmonische trilling voor, met een begin fase gelijk aan:

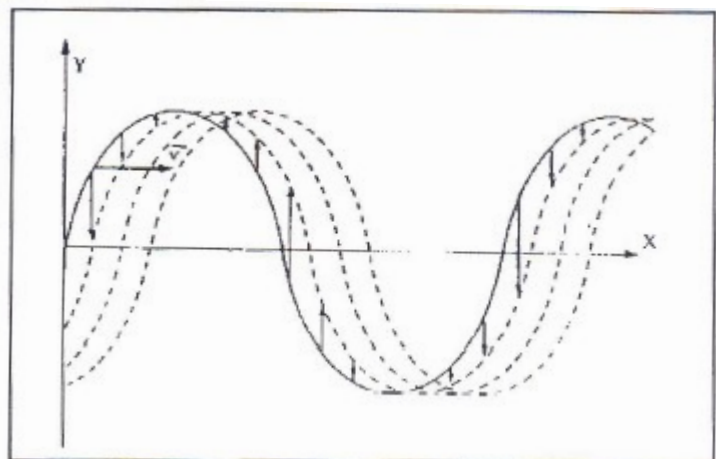
$$\delta = \frac{-2\pi}{\lambda} d'$$

2. Kijken we naar de golfbeweging op een bepaald ogenblik, dat wil zeggen de tijd  $t$  heeft een bepaalde waarde  $t'$ , de uitdrukking voor de golf herleidt zich dan tot:

$$X_p = A \sin 2\pi \left( \frac{t'}{T} - \frac{d}{\lambda} \right)$$

In deze uitdrukking komt nog één veranderlijke voor: de afstand  $d$  tot de bron. Ze stelt de uitwijkingen voor van alle punten op een bepaald tijdstip. Het is eigenlijk een momentopname, een "snapshot". We krijgen een sinusoïde te zien.

3. Laten we nu  $d$  en  $t$  tegelijk veranderen. Veronderstel enkele momentopnamen kort na elkaar. Dan zien we duidelijk, dat alles zich voordoet, alsof een momentopname van de golf, zich als het ware naar rechts verplaatst. We weten echter dat met deze beweging .Naar rechts geen materiële beweging correspondeert, daar de materie slechts op en neer beweegt. Deze dubbele periodiciteit, namelijk in de ruimte en in de tijd, zijn bij elke golfbeweging aanwezig.



### 5.4.1 Voorwaarde opdat een punt P in fase zou trillen met de bron.

Nemen we een watervlak in onze gedachten, zoals de rimpeltank, waar een golfbeweging is. En leggen we op afstanden  $\lambda/2$  kurken op het water. Dan zien we:

- o alle kurken met tussen afstand  $k\lambda$  in fase trillen,
- o de kurken met tussen afstand  $(2k + 1) \lambda/2$  in tegen fase trillen.

Stel, de vergelijking van de beweging van het punt 0 is:

$$X_0 = A \sin 2\pi \frac{t}{T}$$

Dan trilt een willekeurig punt p op afstand d volgens:

$$X_p = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d}{\lambda} \right)$$

Als hun fase dezelfde is dan trillen deze 2 punten van een golf in fase. Deze eis is voldaan indien:

$$\frac{2\pi}{T} = 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d}{\lambda} \right) + 2k\pi \quad \text{met } k \text{ is een natuurlijk getal}$$

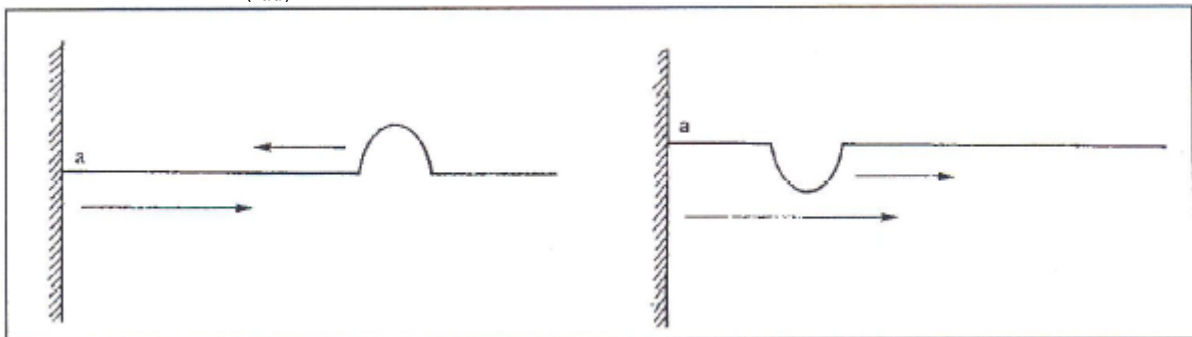
$$\text{Hieruit volgt : } d = 2k \frac{\lambda}{2}$$

Twee punten van een golf trillen in fase als hun onderlinge afstand gelijk is aan een paar aantal maal een halve golflengte.

### 5.4.2 Terugkaatsing van een puls

#### 5.4.2.1 Terugkaatsing van een puls op een vaste wand

Om de terugkaatsing van een puls op een vaste wand gemakkelijk te kunnen aantonen nemen we een zwaar touw, dat aan één uiteinde wordt vastgeklemd. Aan het andere uiteinde veroorzaken we een eenmalige puls. De puls zal langs het touw voortgeplant worden. Bij het aanbotsen tegen het ingeklemde punt komt de puls teruggekaatsd terug maar dan onderste boven. Tussen de opgewekte puls en teruggekaatste puls is er een faseverschil van  $\pi_{(\text{rad})}$ .



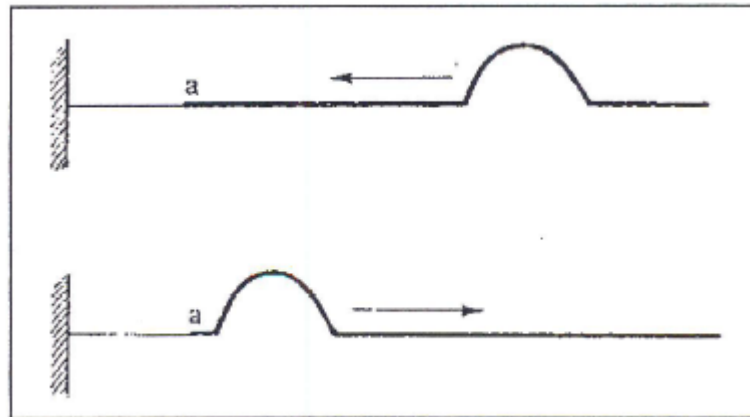
**Figuur 14: puls op een vaste wand**

Bij het terugkaatsen van een golf op een vaste wand ontstaat een fasesprong van  $\pi_{(\text{rad})}$ . Het ontstaan van de fasesprong :

Bij het aankomen van de storing zullen de deeltjes een omhoog bewegende kracht  $F$  uitoefenen op het vaste punt. Hierdoor ontstaat via de wet van actie en reactie een even grootte reactiekracht  $-F$ . Maar omdat het punt vast zit, zal de kracht  $F$  geen invloed hebben. De kracht  $-F$  zal wel effect hebben en zal een puls geven in de andere zin. Omdat de grootte  $F$  en  $-F$  gelijk zijn aan elkaar zal de amplitude van de teruggekaatste golf even groot zijn als de opgewekte puls.

### 5.4.3 Terugkaatsing van een puls tegen een losse wand

Opnieuw gebruiken we het zwaar touw. Maar deze keer zorgen we dat het punt niet vast is maar los. Opnieuw wekken we een puls op. Deze zal zich over het touw voortplanten. Als de puls op het losse uiteinde komt, dan zal de puls terugkeren zoals de oorspronkelijke puls, zonder fasesprong.



Wanneer de storing het vrije uiteinde bereikt, zal het uit zijn evenwichtstoestand geslingerd worden. Het ondervindt een kracht die ervoor zorgt dat het punt versneld. Door zijn traagheid zal het verder uitwijken (overschot). Hierdoor ontstaat een kracht die op de andere deeltjes van het touw werkt en een puls veroorzaakt, die gelijk is aan de oorspronkelijke.

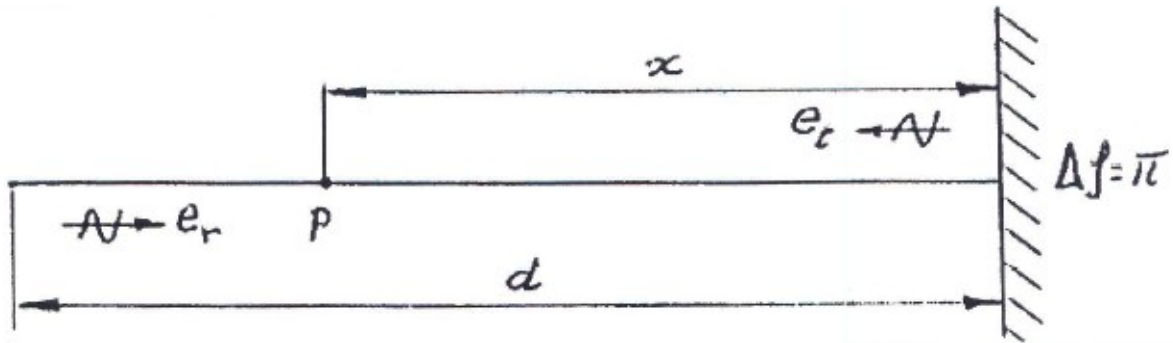
### 5.4.4 Terugkaatsing van een golf

#### 5.4.4.1 Terugkaatsing tegen onvervormbare wand

We nemen opnieuw het zware touw, en voeren opnieuw de proef uit, van de golf tegen de onvervormbare wand. Er zal bij de teruggekaatste golf een fasesprong zijn van  $\pi_{(\text{rad})}$ . Nu nemen we de interferentie onder de loep.

Wiskundig :

Stel, punt 0 trilt met een amplitude  $A$  en een periode  $T$ . Het punt  $P$  op een arbitraire afstand  $x$  van de vaste wand beweegt door de rechtstreekse en de teruggekaatste golf. De uitwijking van een willekeurig punt  $P$  is dus de algebraïsche som van twee uitwijkingen.



**Figuur 15: terugkaatsing tegen onvervormbare wand**

- $e_r$  uitwijking onder invloed van de rechtstreekse van de rechtstreekse golf

$$e_r = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d-x}{\lambda} \right)$$

- $e_t$  uitwijking onder invloed van de teruggekaatste golf

$$e_t = -A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d+x}{\lambda} \right)$$

$$e_{\text{tot}} = 2A \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \cos 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d}{\lambda} \right)$$

Bespreking:

Kijken we naar een gekozen punt, dan zien we dat de golf er enkel nog afhankelijk is van de tijd. Wanneer we de tijd zo kiezen dat de cosinus functie gelijk is aan 1 of -1 dan bekomen we de volgende formule

$$e_{(tot)} = 2A \sin \frac{2\pi x}{\lambda}$$

Deze formule beschrijft voor elk punt zijn maximale elongatie. Alle punten zijn dus tegelijkertijd in hun maximale uitwijking. We merken op dat de amplitude van een punt op de golf afhankelijk is van de afstand tot de vaste wand. De maximale amplitude is  $2A$ .

$$\sin \frac{2\pi x}{\lambda} = \pm 1$$

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = (2k+1) \frac{\pi}{2}$$

$$x = (2k+1) \frac{\lambda}{4}$$

De punten die hieraan voldoen noemen we buikpunten.

De minimale amplitude is  $0A$  dus op deze plaats is er geen elongatie. Deze liggen op afstand  $X$  gelijk aan:

$$\sin \frac{2\pi x}{\lambda} = 0$$

$$\frac{2\pi x}{\lambda} = k\pi$$

$$x = k \frac{\lambda}{2}$$

De punten die aan deze voorwaarde voldoen, trillen dus niet, we noemen ze knooppunten.

De buikpunten bevinden zich op  $\lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4, \dots$  van de wand.

De knooppunten bevinden zich op,  $0, \lambda/2, \lambda, 3\lambda/2, \dots$  van de wand.

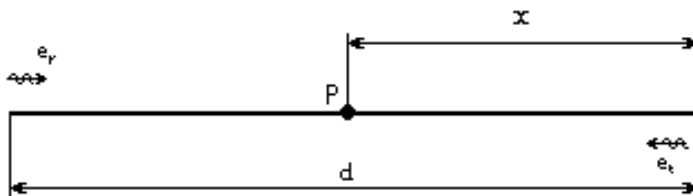
Besluit:

Twee opeenvolgende knopen, evenals twee opeenvolgende buiken, liggen op afstanden van een halve golflengte.

#### 5.4.4.2 Terugkaatsing tegen een vervormbare wand

Wiskundige benadering:

Stel, punt 0 trilt met een amplitude  $A$  en een periode  $T$ . Het punt  $P$  op een willekeurige afstand  $x$  van de losse wand beweegt onder invloed van de rechtstreekse golf en onder invloed van de teruggekaatste golf. De uitwijking van een willekeurig punt  $P$  is dus de algebraïsche som van twee uitwijkingen.



$$e_{(tot)} = e_{(r)} + e_{(t)}$$

- $e_{(r)}$  uitwijking onder invloed van de rechtstreekse golf

$$e_{(r)} = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d-x}{\lambda} \right)$$

- $e_{(t)}$  uitwijking onder invloed van de teruggekaatste golf

$$e_{(t)} = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d+x}{\lambda} \right)$$

$$e_{(tot)} = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d-x}{\lambda} \right) + A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d+x}{\lambda} \right)$$



Na uitwerking vinden we:

$$e_{(tot)} = 2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{d}{\lambda} \right)$$

Bespreking:

Kijken we naar een bepaald punt, dan is de uitwijking er van enkel nog afhankelijk van de tijd. Wanneer we bovendien voor de tijd een zodanige waarde kiezen dat de sinus functie gelijk is aan 1 of -1 dan bekomen we volgende uitdrukking.

$$e_{(tot)} = \pm 2A \cos \frac{2\pi x}{\lambda}$$

Deze uitdrukking geeft voor elk punt zijn maximale uitwijking weer. Alle punten bevinden zich dus gelijktijdig in hun maximale uitwijking. We stellen dus vast dat de amplitude van een punt op de golf afhankelijk is van de afstand tot de losse wand. Nemen we op dit ogenblik het beeld van de golf op dan stellen we vast dat golf een cosinusoidaal verloop heeft. De maximale amplitude is gelijk aan  $2A$ . De plaatsen waar we een maximale amplitude aantreffen vinden we voor de waarden  $x$  zodat:

$$\cos \frac{2\pi x}{\lambda} = \pm 1$$

dit is zo voor  $\frac{2\pi x}{\lambda} = k\pi$

$$x = \frac{k\lambda}{2}$$

De punten die aan deze voorwaarde voldoen, trillen dus met een amplitude  $2A$ , we noemen ze buikpunten.

De minimale amplitude is gelijk aan 0, er zijn dus punten op de golf die helemaal niet trillen. Deze liggen op een afstand  $x$  die voldoet aan:

$$\cos \frac{2\pi x}{\lambda} = 0$$

dit is zo voor  $\frac{2\pi x}{\lambda} = (2k+1) \frac{\pi}{4}$

$$x = (2k+1) \frac{\lambda}{4}$$

De punten die aan deze voorwaarde voldoen, trillen dus niet, we noemen ze knooppunten.

De buikpunten bevinden zich op,  $0, \lambda/2, \lambda, 3\lambda/2, 2\lambda \dots$  van de wand.

De knooppunten bevinden zich op,  $\lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4 \dots$  van de wand.

Besluit:

Twee op een volgende knopen, evenals twee op een volgende buiken, liggen op afstanden van een halve golflengte.

## 6 Geluid

### 6.1 *Wat is geluid?*

Geluid ontstaat door de trilling van een veerkrachtig lichaam. Dit in trilling brengen kan door om het even welke trillingsbron. Geluid kan pas worden waargenomen als er een elastische middenstof is, tussen het oor en het trillend voorwerp. De trillingen worden vanaf het oor door zenuwimpulsen gestuurd naar de hersenen. Daar worden ze geïnterpreteerd als geluid. De middenstof kan een gas, vloeistof of vaste stof zijn. Geluid plant zich dus niet voort in een vacuüm. De overdracht van geluid gebeurt via longitudinale golven, d.w.z. dat ze in dezelfde richting trillen als ze zich voortplanten. Geluidsgolven bestaan dus uit golven van regelmatige verdichting en verdunningen van een elastische middenstof. Deze golven voeren kinetische energie met zich mee.

De werking van longitudinale golven kan men aanschouwelijk maken door een lange, aan één eind vastgemaakte spiraalveer heen en weer te bewegen.

### 6.2 *Verschillende soorten geluid*

Er zijn veel verschillende soorten geluiden die gerangschikt worden op basis van hun eigenschappen, namelijk hun ontstaan, frequentie,...

#### 6.2.1 *Infrasoon geluid*

Infrasoon geluid is geluid dat niet door de mens waarneembaar is omdat de frequentie van infrasoon geluid te laag is. Het gemiddelde spectrum van frequenties die hoorbaar zijn voor het menselijk oor, is ongeveer het interval 16 Hz – 16000 Hz. De frequentie van infrasoon geluid ligt tussen 0,1 Hz en 10 Hz. Wetenschappers zijn ervan overtuigd dat vogels (vooral trekvogels) deze infrasone geluiden kunnen waarnemen en er gebruik van maken om weg te trekken voor de winter. Woestijnen, bergen en andere reliëfvormen zouden elk een eigen geluidspatroon produceren waarop vogels zich kunnen baseren in hun reis op zoek naar warmte.

## 6.2.2 Ultrasoon geluid

Ultrasoon geluid is geluid dat de mens niet hoort omdat de frequenties te hoog liggen voor de mens. De mens hoort maar tot ongeveer 16000 Hz en ultrasoon geluid begint pas vanaf 20 kHz tot 100kHz en meer.

## 6.3 Voortplantingssnelheid van geluid.

Geluid kan door elk medium worden overgedragen, en alle geluidsgolven planten zich door elk medium bij constante temperatuur met een constante snelheid voort. De snelheid van het geluid door lucht van 20°C is b.v. 334m/s. Door sommige media gaat het geluid echter sneller, afhankelijk van de elasticiteit en de dichtheid. Geluidsgolven gaan echter zeer moeilijk van het ene medium over naar een ander met een hogere of lagere dichtheid.

### 6.3.1 Voortplantingssnelheid van geluid in gassen

De geluidssnelheid in de lucht werd voor het eerst nauwkeurig gemeten in 1738, tussen Monthéry en Montmartre. Beurtelings werd in één van deze plaatsen een kanonschot afgevuurd. In de andere plaats bepaalde men het tijdsverloop tussen het zien van de losbranding en het horen van het schot. Uit de kennis van de afstand en van het tijdsverloop, kon men de geluidssnelheid berekenen. Door in beide richtingen te werken kon men de invloed van de wind elimineren.

Voor snelheid van het geluid geldt de volgende betrekking:

$$c = \sqrt{\frac{c_p \cdot p}{c_v \cdot \rho}}$$

$c_p$ : soortelijke warmte bij cst druk  
 $c_v$ : soortelijke warmte bij cst volume  
 $P$ : de druk van het gas  
 $\rho$ : de massadichtheid van het gas

$$c = \sqrt{k \frac{P}{\rho}}$$

### 6.3.2 Voortplantingssnelheid van geluid in vloeistoffen

De snelheid van het geluid in water werd voor het eerst in 1827 door Collandon en Strum op het meer van Genève gemeten. Als resultaat vonden ze 1435 m/s.

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

$K$ : compressiemodulus van de vloeistof  
 $\rho$ : soortelijke massa

### 6.3.3 Voortplantingssnelheid van geluid in vaste stoffen (Biot 1800)

Om de geluidssnelheid in vaste stoffen te bepalen wordt gebruik gemaakt van de elastische eigenschappen van de stof waaruit de geluidssnelheid berekend wordt. Experimenteel bepaalde de Fransman Biot rond 1800 voor het eerst de snelheid in ijzer en vond hiervoor 4900 m/s.

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

E: elasticiteitsmodules van de vaste stof

## Enkele getalwaarden

Tabel: Voortplantingsnelheid van het geluid in verschillende middenstoffen bij verschillende temperaturen.

Middenstof	Temeratuur T (°C)	Snelheid v (m/s)
Lucht	0	331
Lucht	20	344
Lucht	100	486
Koolstofdioxide	0	258
Argon	0	309
Methaan	0	432
Zuurstof	0	490
Helium	0	970
Waterstof	0	1270
Chloroform	15	983
Ether	15	1032
Alcohol	15	1270
Water	15	1437
Ammoniak	15	1663
Lood	20	1227
Zilver	20	2610
Koper	20	3560
glas	20	5000
IJzer	20	5130
mach 1	-15	320
	0	330
	15	340
	50	359,4

#### 6.4 Geluidssterkte

De klanken die worden voortgebracht door een bepaalde activiteit kunnen door twee personen verschillend geïnterpreteerd worden. Voor de uitvoerder van deze activiteit zal dit geluid niet storend zijn maar datzelfde geluid zal wel hinderend zijn voor een persoon in de nabijheid die bijvoorbeeld denkwerk moet verrichten. Wanneer geluid een storend element wordt, zal het lawaai genoemd worden.

Om geluidssterkte met een bepaalde waarde aan te duiden, rekening houdend met de omstandigheden, zullen er bepaalde grootheden worden ingevoerd.

Geluid is een wijziging van de druk in het medium waar we ons in bevinden, meestal is dit lucht. Deze drukverandering kan waargenomen worden door ons oor. De kleinste verandering die ons oor kan waarnemen bij 1000 Hz is  $2 \cdot 10^{-5}$  Pascal. De pijndrempel

ligt bij  $2 \cdot 10^2$  Pascal. Als geluidssterkte in Pascal zou gemeten worden, zou men te maken hebben met grote onhandelbare getallen. Om dit te voorkomen voerde men de decibel in.

Om de extreme waarden in een compactere schaal weer te geven maakt men gebruik van logaritmen. De relatieve geluidssterkte wordt gedefinieerd als de logaritme van de verhouding  $I$  op  $I_0$ .

$\log I/I_0$  in bel (B)

met:  $I$  = geluidsintensiteit

$I_0$  = standaardgeluidsintensiteit

Omdat de bel een te grote waarde is werken we met de decibel.

$10 \cdot \log I/I_0$  in decibel (dB)

## 6.5 Geluidsdruk – Geluidsdrukniveau

De sterkte van het luchtgeluid wordt beschreven d.m.v. de geluidsdruk en wel de effectieve waarde hiervan. In de praktijk wordt echter niet met de geluidsdruk zelf gerekend maar met een daarvan afgeleide grootheid: het geluidsdrukniveau  $L_p$ .

Daar een eventuele geluidsdruk gesuperponeerd wordt op de reeds aanwezige luchtdruk kan de totale luchtdruk geschreven worden als:

$$p_{\text{totaal}} = p_{\text{atm}} + p_{\text{geluid}}$$

Wensen we de geluidsdruk met een getalwaarde uit te drukken, dan moeten we vaststellen dat de ogenblikkelijke waarde of het algebraïsche gemiddelde niet relevant zijn (deze laatste wordt zelfs nul over voldoende lange tijd). Het oor blijkt nu wel gevoelig te zijn voor de energie van de geluidsgolven. Daarom is de effectieve waarde (ook wel de RMS-waarde genoemd) van de geluidsdruk, gemeten over een bepaald tijdsinterval, een geschikte grootheid om de geluidsdruk uit te drukken:

$$p_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p^2 \cdot dt}$$

De energie in de geluidsgolf is evenredig met het kwadraat van de effectieve geluidsdruk. Veranderingen in geluidsdruk kunnen binnen 0,1 s door het oor gedetecteerd worden. Het is dan ook gebruikelijk om de integratietijd in deze grootorde te kiezen.

Geluidsmeters hebben eveneens een “tijdsconstante” van die aard.

Zoals reeds vermeld kan het menselijk oor geluiden waarnemen waarvan  $P_{\text{eff}}$  gelegen is tussen  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa (gehoorgrens) en 200 Pa (pijngrens). De verhouding tussen beide grenzen is  $10^7$ , wat enorm groot is. Een schaal waarop alle waarneembare geluidssterktes zouden kunnen uitgezet worden, uitgedrukt in Pa, zou dus heel uitgestrekt moeten zijn. Om zo'n schaal praktisch uitvoerbaar te maken heeft men deze gecompriemd via het invoeren van de decibel (dB). Bovendien reageert het

menselijk oor niet zozeer op drukverschillen doch op drukverhoudingen. Een logaritmische schaal zal dus eveneens beter geschikt zijn om een ervaren geluidssterkte uit te drukken.

Het geluidsdrukniveau  $L_p$ , uitgedrukt in dB, wordt gedefinieerd als:

$$L_p (dB) = 10 \log_{10} \frac{p_{eff}^2}{p_0^2} = 20 \log_{10} \frac{p_{eff}}{p_0} = 20 \log_{10} p + 94$$

Waarin  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa de referentiedruk is, die overeen komt met 0dB. Op deze wijze komt men tot een schaal, gaande van 0 tot 140 dB.

Op figuur 1.3 worden enkele herkenbare geluiden voorgesteld, met aanduiding van de dB-waarde en de overeenkomstige geluidsdruk in  $\mu$ Pa.

Een verschuiving van 1 dB op de schaal geeft steeds dezelfde relatieve drukverandering aan. Hoewel een toename van 6 dB overeenkomt met een verdubbeling van de geluidsdruk, ervaart het subjectieve menselijk oor het geluid pas als 2 keer zo luid bij een toename van 10 dB. De kleinste verandering die we kunnen waarnemen is ongeveer 3 dB.

## 6.6 Decibel

Decibels worden gebruikt om verhoudingen uit te drukken van spanningen, geluidsdrukken, vermogens, geluidsintensiteiten, impedanties of andere basiseenheden. De decibel is dus een dimensieloze grootte.

De decibelgeschiedenis begon bij één der eerste toepassingen van de electro-akoestiek, nl.: de telefonie. Bij de overdracht van audiosignalen over telefoonlijnen, constateerde men dat de verliezen in de lijn niet lineair zijn met de afstand. Voor een lijn van bv. 100 km lengte, was het beschikbare vermogen op een afstand van 50 km niet meer de helft maar heel wat minder. Het vermogenverlies in functie van de afstand, volgt een exponentiële wet.

Bij lange lijnen moet het verlies gecompenseerd worden door het tussenschakelen van versterkers, anders is het beschikbaar vermogen aan de ontvangstkant te zwak en onbruikbaar. Vanwege de signaal/stoorafstand mogen die versterkerpunten ook niet te ver van mekaar verwijderd zijn.

Om de lijnverliezen te kunnen uitdrukken in numerieke waarden, werd in het begin de term “miles of loss” (mijlen verlies) gebruikt; het was een middel om het verlies van een bepaalde lijn uit te drukken t.o.v. een standaardlijn van 1 mijl lengte ( $\cong$  1600 m).

Vanaf 1924 werd de term vervangen door een logaritmische waarde: de “transmission unit” (transmissie-eenheid). En in 1928 werd ter ere van Alexander Graham Bell, die laatste benaming herdoopt tot de “bel”.

De fundamentele vergelijking voor de bel was:  $\log_{10} \frac{P_1}{P_2}$ , waarbij  $P_1$  en  $P_2$  de bewuste vermogens in watt zijn.

Voor praktische toepassingen was de bel-waarde echter te groot, en werd ze vervangen door een 10 maal kleinere waarde: de decibel; afgekort: dB.

De vergelijking voor de decibel werd daardoor:  $10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2}$ .

## 6.7 Doppler effect

In het jaar 1845, drie jaar na de beschrijving van het dopplereffect door Doppler, bedacht Buys Ballot een manier om te controleren of de theorie van Doppler klopte: hij liet een trein met trompettisten aan boord rijden, en aan de kant van het spoor moesten geoefende luisteraars controleren of er een toonverschil optrad ten opzichte van de standaardtoon die de blazers aan boord van de trein maakten. De toon bleek inderdaad bij het naderen van de trein hoger te zijn dan de standaardtoon en na het voorbijrijden van de trein lager. Vervolgens werden de luisteraars in de trein gezet en de blazers aan de kant van het spoor, maar het verschil tussen de twee experimenten was niet groot genoeg om hoorbaar te zijn (tegenwoordig is het wel te meten). Na herhaling van de experimenten concludeerden de luisteraars dat, zoals Doppler ook had beschreven, de frequentieverandering afhankelijk is van de snelheid waarmee de trein voorbijrijdt. Ook concludeerden ze dat de geluidsterkte bij nadering groter werd en bij verwijdering kleiner, maar dit kwam niet door het dopplereffect: de trein kwam gewoon dichterbij (zoals alle geluidsbronnen dichtbij harder klinken dan op afstand). Het dopplereffect voor geluid is bij deze experimenteel bewezen; als je aanneemt dat elektromagnetische straling een golfverschijnsel is en er niets anders is dan de golven 'afremt', is het dopplereffect ook voor elektromagnetische straling bewezen.

De waarnemer gaat zich met een bepaalde snelheid richting bron verplaatsen. Doordat de waarnemer zich richting bron verplaatst, doorloopt deze per seconde meer golven, waardoor de waargenomen frequentie stijgt (de definitie van "frequentie" is "het aantal per seconde"). Het zou natuurlijk mooi zijn als het mogelijk was om er theoretischerwijs achter te komen hoeveel de frequentie zal stijgen.

Dit kan op de volgende manier, uitgelegd met een voorbeeld met de volgende waarden:

$$v_{\text{medium}} = 5 \text{ m/s}$$

$$v_b = 0 \text{ m/s}$$

$$v_w = 2 \text{ m/s (positief: naar de bron toe)}$$

$$f_b = 17 \text{ Hz}$$



De waarnemer beweegt met een snelheid van 2 m/s naar de bron toe, waardoor elke seconde  $2 / 5 = 40\%$  meer golven worden doorlopen dan als deze zou stilstaan. De frequentie die de waarnemer merkt is dus  $140\%$  van de bronfrequentie, 23,8 Hz. In formulevorm valt deze berekening te schrijven als:

$$f_w = f_b \left( 1 + \frac{V_w}{V_m} \right)$$

Het is uiteraard ook mogelijk dat de bron zich naar de waarnemer toe verplaatst. In dit geval zullen er aan de voorkant meer golven komen en aan de achterkant minder, omdat de eerder gemaakte golven worden ingehaald. De frequentie die wordt waargenomen (en de frequentie van de golven die door het medium reizen) is groter dan de bronfrequentie. Ook hier is het mogelijk om er achter te komen hoe veel groter of kleiner de frequentie wordt.

In het voorbeeld worden de volgende waarden gebruikt:

$$v_{\text{medium}} = 5 \text{ m/s}$$

$$v_b = 2 \text{ m/s (positief: naar de waarnemer toe)}$$

$$v_w = 0 \text{ m/s}$$

$$f_b = 17 \text{ Hz}$$

De bron beweegt met een snelheid van 2 m/s naar de waarnemer toe, waardoor van iedere golf  $2 / 5 = 40\%$  wordt ingehaald; hierdoor neemt elke volledige golf maar  $60\%$  ( $100\% - 40\%$ ) van zijn ruimte in (gerekend vanaf  $v_b = 0$ ), waardoor de frequentie  $1 / 60\% = 1 \frac{2}{3}$  keer zo groot wordt. De waargenomen frequentie is  $28 \frac{1}{3}$  Hz.

In formulevorm:

$$f_w = \frac{f_b}{1 - \frac{V_b}{V_m}}$$

Ook kan het voorkomen dat zowel de bron als de waarnemer bewegen. Dit lijkt een behoorlijk ingewikkeld geval, maar dit valt wiskundig behoorlijk mee: de bronfrequentie van de formule voor de bewegende waarnemer kan ingevuld worden met de uitkomst van de formule voor de bewegende bron:

$$f_w = \frac{f_b}{1 - \frac{V_b}{V_m}} \times \left( 1 + \frac{V_w}{V_m} \right) = f_b \times \frac{1 + \frac{V_w}{V_m}}{1 - \frac{V_b}{V_m}}$$

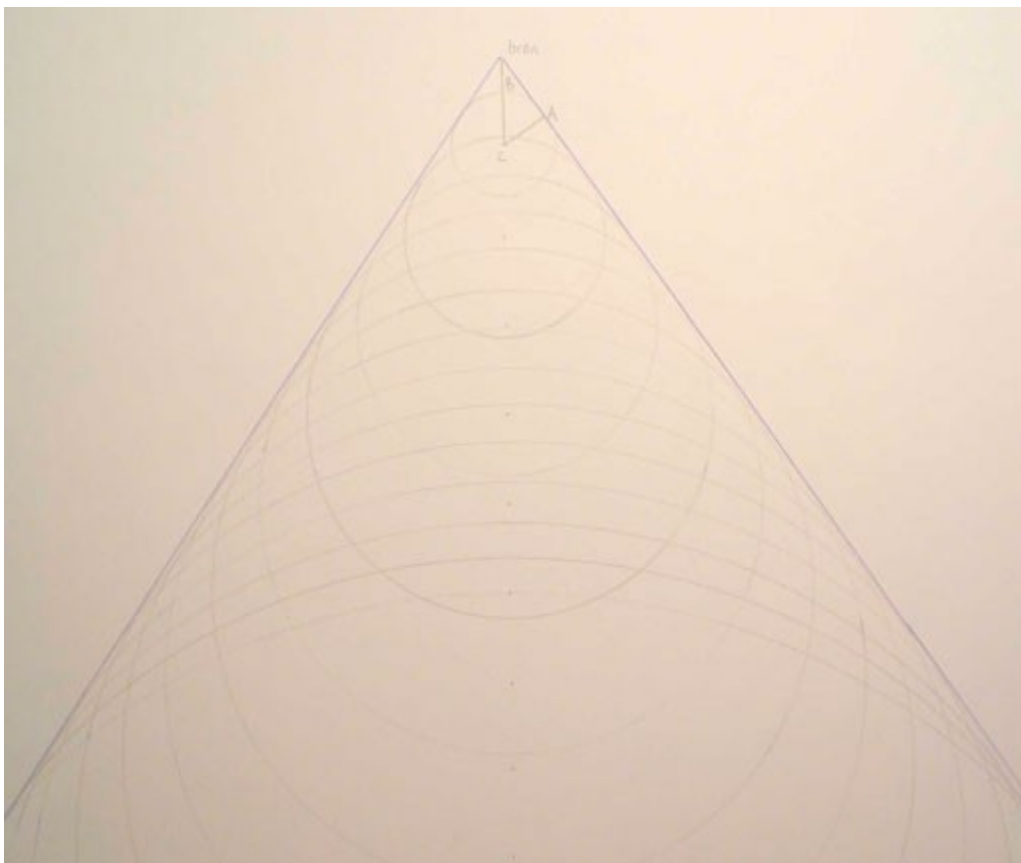
Als de bron zich in dezelfde richting met dezelfde snelheid verplaatst als de waarnemer, vindt er geen dopplerverschuiving plaats: de bronnelheid is de negatieve waarnemerssnelheid, waardoor de bronfrequentie met 1 vermenigvuldigd wordt en de waarnemer dus hetzelfde waarneemt als wat de bron produceert.

### 6.7.1 Bijzondere gevallen met een bewegende bron

Als de snelheid van de bron gelijk is aan de voortplantingssnelheid van de golven, dan vormt zich aan de voorkant van de bron een schokfront: de golf wordt opgeteld bij de golf die zich nog aan het voortplanten is in het medium op dezelfde (relatieve) plaats en vormt, door dit heel vaak achter elkaar te doen, een golf met een grote amplitude.

Als de snelheid van de bron groter is dan de voortplantingssnelheid van de golven, dan worden de eerder gemaakte golven ingehaald: aan de voorkant van de bron ontstaat geen schokfront, maar de nieuwe golven gaan ook naar achteren en gaan zo interfereren met de oude golven die zich nog aan het voortplanten zijn in het medium.

In de tekening van de golven in dit geval op een bepaald tijdstip valt te zien dat na een aantal golven de interferentieplaatsen steeds dichter bij twee lijnen, links en rechts achter de bron, voorkomen. Doordat de interferentieplaatsen ook steeds dichter bij elkaar komen, vormen zich twee schokgolven achter de bron. Uiteraard valt te berekenen in welke richting deze twee lijnen staan.



Figuur 16: het dopplereffect uitgetekend voor  $V_b > V_m$

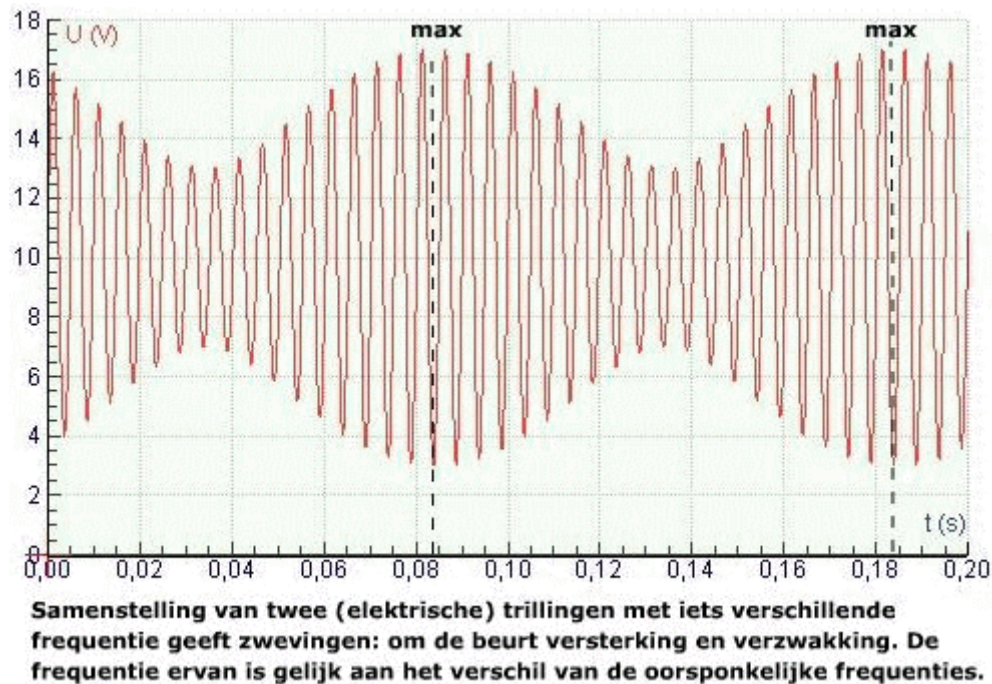
### 6.7.2 Toepassing van het doppler effect

Een toepassing hierop is radarcontrole.

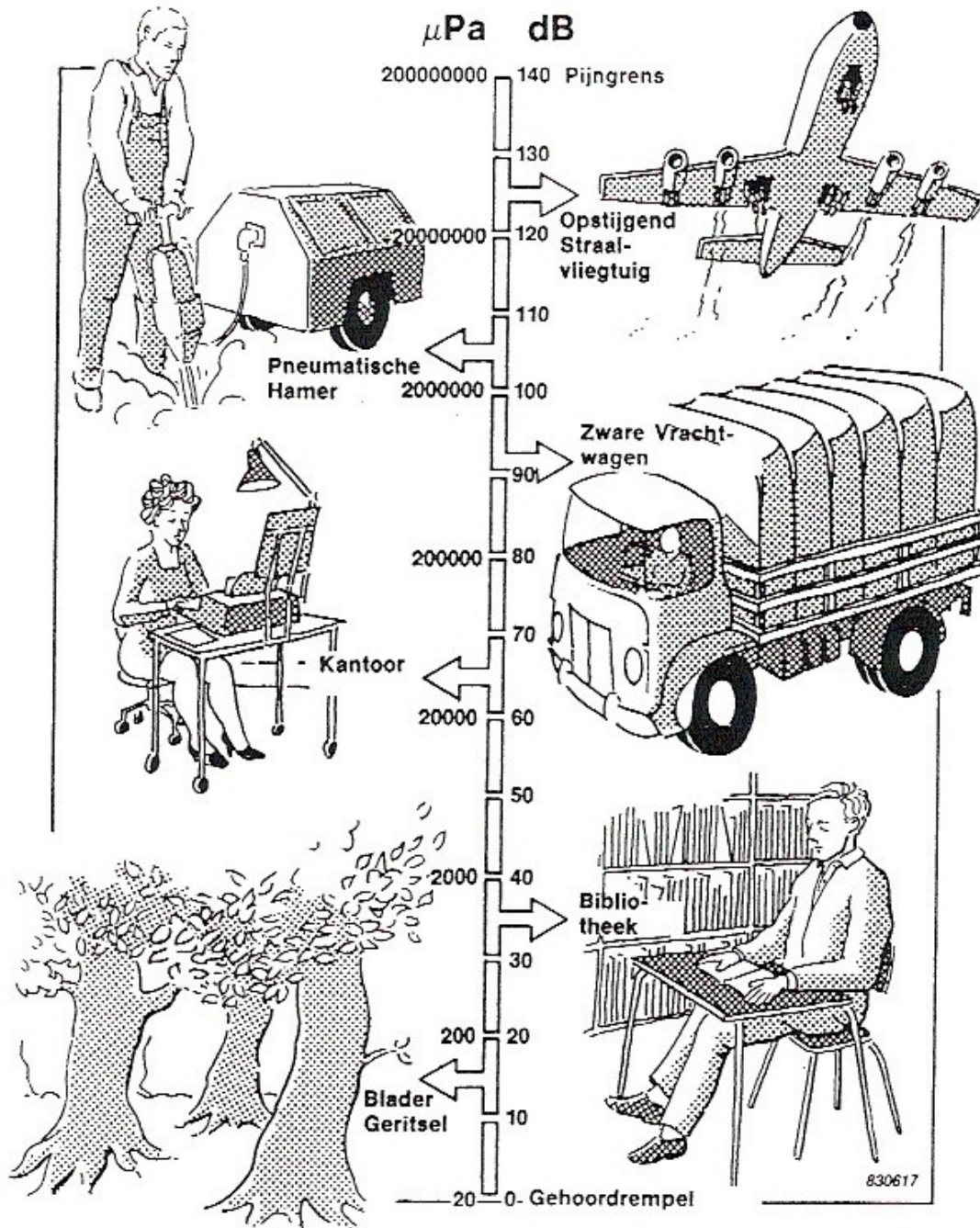
Radar (RADIO Detection And Ranging) werkt met radiogolven met een golflengte van pakweg 10 cm. De frequentie is ongeveer 3 GHz en de snelheid is die van het licht, dus ongeveer 300 000 km/s.

Het apparaat zendt gedurende enige microseconden radiogolven uit. De radiogolven

kaatsen terug tegen een rijdende auto en worden hierdoor met verhoogde frequentie teruggekaatst. Daarbij treedt het dopplereffect twee keer op. Eerst worden de radiogolven door de auto opgevangen. De auto is dan een bewegende 'waarnemer' en vangt een verhoogde frequentie op. Daarna wordt die verhoogde frequentie teruggekaatst en werkt de auto als een bewegende bron. Het apparaat meet in feite het verschil tussen de uitgezonden frequentie en de frequentie van de 'echo'. Als je de uitgezonden elektrische trilling en de teruggekaatste optelt, krijg je iets als in de figuur hieronder.



In de figuur is een signaal van 200 Hz gecombineerd met een veel zwakker signaal van 210 Hz. Je krijgt nu zwevingen: om de beurt versterking (als de gereduceerde fasen gelijk zijn) en verzwakking (als ze in tegenfase zijn) van het signaal. De frequentie van de zwevingen is gelijk aan het verschil van de twee oorsponkelijke frequenties. Je kan dat ook in de figuur zien. De trillingsijd van een zweving is (van max tot max) 0,10 s; daarbij hoort een frequentie van 10 Hz.



Figuur 17: dB schaal

## 7 Proeven

### 7.1 *het aanmaken van de pvc rimpeltank*

#### 7.1.1 fase 1: ontwerpen

We wilden een rimpeltank maken die zo groot mogelijke afmetingen had. Daarnaast was het de bedoeling dat men de effecten op het water duidelijk kon zien. Daarom kozen we als materiaal voor PVC, specifiek doorzichtige en gemakkelijk te buigen PVC. De rimpeltank moest oplopende wanden hebben zodat de golven werden gebroken, en deze dus niet meer terugkaatsten. Bij het buigen van de oplopende randen begon de pvc bak af te buigen.

De hoek waaronder de randen gebogen zijn is 30 graden.

We buigen eerst de hoeken en dan pas de aflopende randen. Eenmaal dit gebeurd is, kunnen we de zijkanten eraan plakken. Eerst met lijm vastplakken en dan doorzichtige silicone als waterdichtend middel. Na het testen op lekken kan men denken aan de bron en overbrenging.

Als trillingsbron hebben we een puntbron. Dit is een vijs van metrisch 4.

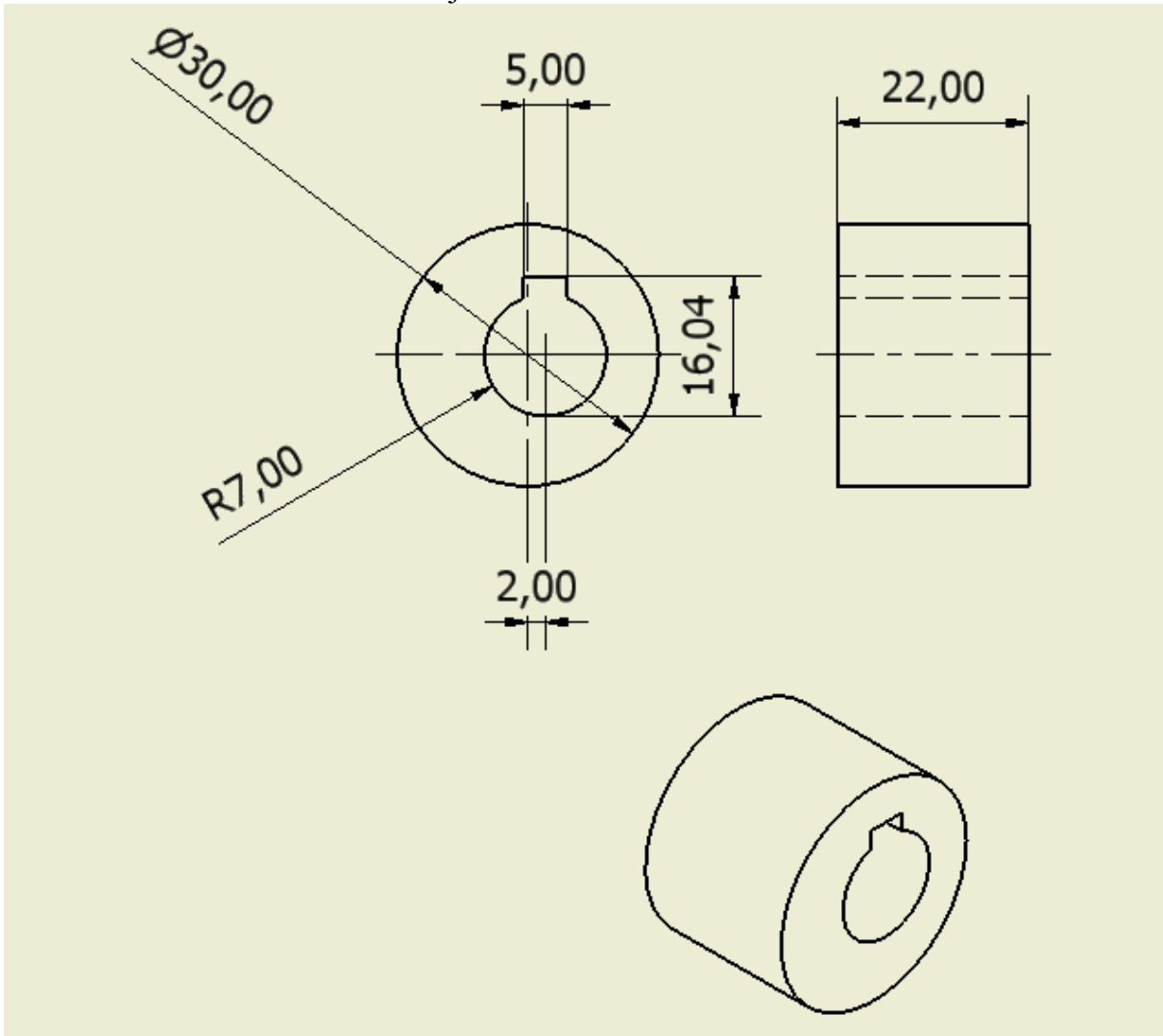
Om de trilling op te wekken nemen we een motor en een frequentieregelaar. Om de trilling op te kunnen wekken via de motor, monteren we op de as van de motor een holle cilinder met een gat in. Dit gat zal ervoor zorgen dat de as “slaat”. Om deze excentriek over te brengen gebruiken we een trillat. Bij het gebruik van een vijs, hadden we het probleem van een te kleine amplitude bij de golven. Daarom zochten we een andere soort bron. Na overlopen van hoe de bron eruit zou moeten zien, kwamen we op het idee om pingpong-balletjes te gebruiken. Aan deze balletjes lijmen we een bout, die we dan vastschroeven op de lat.

Zoals eerder vermeld zullen we een holle cilinder over de as van de motor plaatsen. Om zo een trilling op te wekken. De holle cilinder zal moeten een uitsparing hebben voor de spie op de motoras. Het midden van het gat zal moeten uit het center van het werkstukje liggen. Zodat het werkstukje een excentriek vormt. Als uitwijking gebruiken we: 2mm.

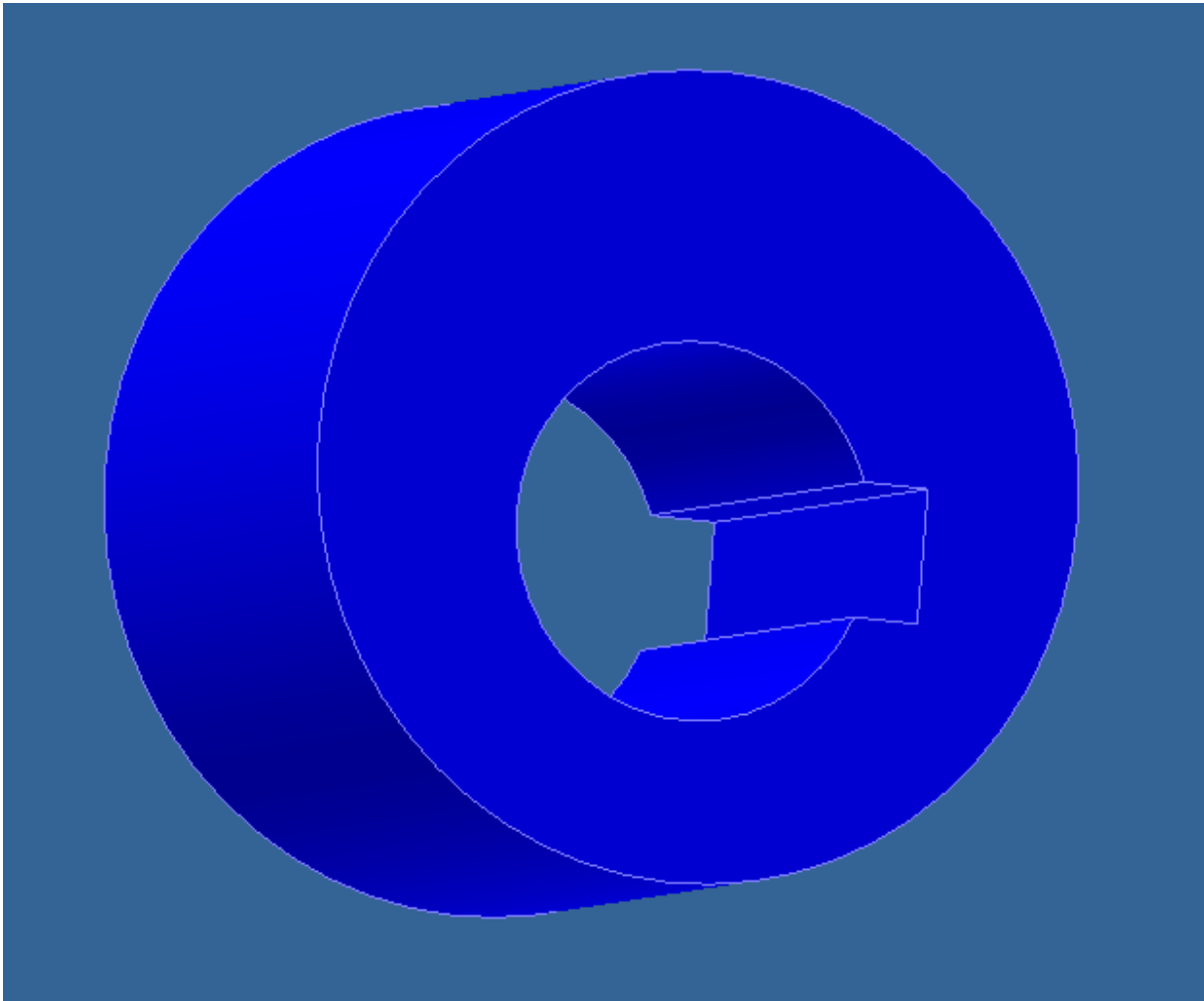
#### 7.1.2 Maken van de excentriek:

Eerst zullen we een technische tekening maken in inventor. We gebruiken inventor, omdat dit programma ook gebruikt wordt door de machines. Na aanmaken van de tekening laten we het programma de cnc programmatie zelf genereren. Als basismateriaal nemen we getrokken ijzer. We zagen de buis af op 25mm. Het stukje wordt vlakgedraaid aan alle 2 de kanten en wordt afgehoekt op 0,5. We draaien het vlak aan alle 2 de kanten zodat we zeker zijn dat het stukje evenwijdig en plat is. Nu zullen we het stukje in een freesmachine plaatsen. We spannen het stukje op en laten het programma lopen. Eerst zal het middengat voorgeboord worden met een diameter van 4mm. Dan zullen we het stukje op juiste maat boren. De binnen diameter is nu 14mm. En het center van het gat ligt 2 mm van het center van de grote diameter. Nu

zullen we de uitsparing voor de spie maken. De grootte van de uitsparing is wettelijk bepaald. Dit aan de hand van een meettabel. Uit de meettabel halen we dat als de asdiameter tussen 12 en 17 mm ligt, dan moet de spiebreedte 5mm zijn, de spiedikte 5mm, de gleufdiepte in het werkstuk 2,1mm en de gleufdiepte in de as 2,9mm. Zie foto. Nu gebruiken we het cooter instrument om de spie uitsparing te maken. Zie foto. Het stukje is volledig afgewerkt. Het enige dat nog moet gebeuren is afbramen. Hiervoor nemen we een zachte vijl.



Figuur 18: technische 2D tekening

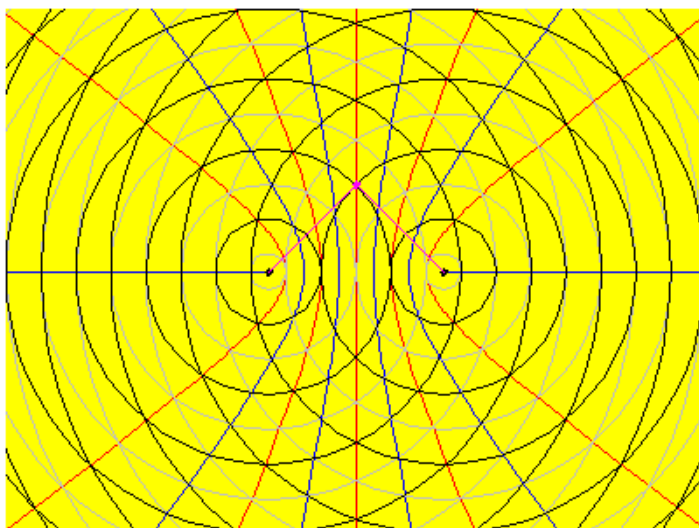


Figuur 19: 3D tekening van de excentriek

### 7.1.3 Interferentie.

Nu de volledige tank gemaakt is, kunnen we beginnen aan het aantonen van interferentie. Eerst en vooral, interferentie is: als er 2 bronnen in fase golven produceren, wat er gebeurt als de golven van de verschillende bronnen met elkaar in contact komen.

Om de bronnen in fase te krijgen, monteren we haaks op onze trillat een kleine lat. In deze lat boren we op de uiteinden 2 gaten, waarin de 2 bronnen komen. Nu zijn we zeker dat de bronnen in fase zijn. Nu laten we de motor op een laag toerental draaien. We kijken wat er gebeurt rondom de 2 bronnen. Zie foto. De zwarte lijnen, zijn de golven gemaakt door de bronnen. De rode en de blauwe lijnen, zijn de interferentielijnen.



**Figuur 20: interferentie van golven**



## **7.2 Proef op transversale golf.**

Om transversale golven uit te leggen, maken we gebruik van een trillingsbron, een elastiek en een vast punt. We laten de trillingsbron trillen op een bepaalde frequentie. Aan deze bron hangen we een elastiek. De andere kant hangen we aan een vast punt. Als de bron gaat trillen, dan wekt hij een golf op in de elastiek. Als we de frequentie van de bron dan verhogen, zal de frequentie van de golf ook verhogen. Als we de frequentie blijven verhogen, dan zullen er op een bepaald moment 1 knoop en 2 buiken verschijnen. Op deze frequentie is de golflengte juist de afstand tussen het vast punt en de trillingsbron. Er past dus juist 1 golf tussen deze 2 punten. In de totale lengte ( heen en terug ) passen er dus 2 golflengten in. Als je dan de frequentie maal 1,5 doet, zullen er 3 golven in passen. Dus tussen de trillingbron en het vast punt past er 1,5 golven. Dit is dus 3 buiken en 2 knopen. Als we dan maal 2 doen, dan krijg je 4 buiken en 3 knopen. Dus bij elke stap van 0,5 keer de frequentie waarbij je 1 golflengte krijgt tussen de 2 punten krijg je 1 buik en 1 knoop erbij.

## **7.3 Proef op longitudinale golf.**

Bij een longitudinale golf krijg je hetzelfde fenomeen als bij de transversale golf, alleen is de trilrichting bij een longitudinale golf gelijk aan de voortplantingsrichting, en bij de transversale golf staat de trilrichting loodrecht op de voortplantingsrichting.

## **7.4 Proef van Kundt.**

Met de proef van Kundt kunnen we de geluidssnelheid bepalen in gassen. Hierbij hebben we een glazen buis, een regelbare frequentiegenerator, een kleine box en een staaf met daarop een cirkelvormig oppervlak, waarmee we de lengte van de buis kunnen regelen. Als we de box aansluiten op de generator, en we regelen deze op 1 kHz ( de klank van het testbeeld en ook de best hoorbare klank ), produceert de box een geluid van 1 kHz. Dit geluid laten we afspelen in de buis. Daarna regelen we de lengte van de buis met de staaf. Op bepaalde punten zullen we een versterking van het geluid horen en op andere een verzwakking. Als we de lengte meten tussen de eerste verzwakking en de derde, dan hebben we de golflengte. Met deze golflengte kunnen we de geluidssnelheid bepalen in de buis. Dit kan in elk soort gas gedaan worden.

Deze proef kan ook gedaan worden in een glazen buis die men in water stopt. Zo kan men de lengte regelen door de buis te laten zakken in het water of hem er verder uit te halen.

Nu laten we een frequentie genereren en laten deze door de buis gaan. Halen we nu de buis uit het water, dan zullen we versterking en verzwakking horen. Meten we nu tussen 2 verzwakkingen, dan heb je de afstand van een halve golflengte.

Vermenigvuldigen we deze met 2 dan hebben we de golflengte van die bepaalde frequentie in dit bepaald medium.

### **7.5 De wieg van Newton**

Deze proef toont aan dat geluid in een ijl midden trager gaat dan in een dicht midden. Dit kunnen we bewijzen door de bollen verder van elkaar te hangen. Hangen ze ver van elkaar, dit stelt een ijl midden voor, dan zal het langer duren voordat de laatste bol wegvliegt door de actie van de eerste.

### **7.6 Resonantie**

Nemen we 2 stemvorken van gelijke grote en gelijk materiaal, en zetten we ze alle 2 op 2 gelijke klankdozen. En zetten we ze nu een eindje van elkaar, en slaan we de 1 aan, dan zal de andere automatisch beginnen trillen. Doordat ze dezelfde resonantiefrequentie hebben.

## **8 Bijlage:**

### **8.1 Geluidsnormen**

#### **8.1.1 Koninklijk Besluit van 24 februari 1977 houdende vaststelling van geluidsnormen voor muziek in openbare en private inrichtingen**

##### **8.1.1.1 Art. 1.**

Voor de toepassing van dit besluit wordt verstaan onder:

##### **8.1.2 Muziek:**

alle vormen van muziekemissie elektronisch versterkt en voortkomend van blijvende of tijdelijke geluidsbronnen;

##### **8.1.3 Achtergrondgeluidsniveau:**

minimum geluidsniveau, gemeten over een periode van vijf minuten, bij uitschakeling van de onder 1 bedoelde geluidsbronnen in de onder 2 en 3 bedoelde inrichtingen.

##### **8.1.3.1 Art. 2.**

In openbare inrichtingen mag het maximum geluidsniveau voortgebracht door de muziek 90 dB (A) niet overschrijden. Dit geluidsniveau wordt gemeten op gelijk welke plaats in de inrichting waar zich in normale omstandigheden personen kunnen bevinden.

##### **8.1.3.2 Art. 3.**

De openbare en private inrichtingen waar muziek geproduceerd wordt, moeten zo ingericht zijn dat het geluidsniveau gemeten in de buurt:

1. niet hoger is dan 5 dB (A) boven het achtergrondgeluidsniveau, indien dit lager is dan 30 dB (A)
2. niet hoger is dan 35 dB (A) indien het achtergrondgeluidsniveau ligt tussen 30 en 35 dB (A)
3. niet hoger is dan het achtergrondgeluidsniveau indien dit hoger is dan 35 dB (A)

Dit geluidsniveau wordt gemeten in het lokaal of gebouw, met gesloten deuren en vensters. De microfoon wordt geplaatst op minstens 1 m afstand van de muren en op een hoogte van 1,20 m boven de vloer.

### **8.1.3.3 Art. 4.**

Het geluidsniveau in dB (A) wordt gemeten met een geluidsmeter, die minstens voldoet aan de nauwkeurigheidseisen bepaald in de Belgische norm NBN 576.80, met instelling van de 'trage' dynamische karakteristiek.

Voor elke meting of reeks van metingen met betrekking tot een zelfde geluidsbron wordt de geluidsmeter afgesteld met behulp van een akoestische ijkbron.

### **8.1.3.4 Art. 5.**

Onverminderd de bevoegdheden van de officieren van gerechtelijke politie, wordt overtreding van dit besluit opgespoord en vastgesteld door;

1. de technische ambtenaren van de Dienst Milieuhinder en de gezondheidsinspecteurs van het Ministerie van Volksgezondheid en van het Gezin;
2. de technische ambtenaren van het departement Leefmilieu van het Instituut voor Hygiëne en Epidemiologie van het Ministerie van Volksgezondheid en van het Gezin;
3. de bevoegde ambtenaren van de Administratie van de Arbeidsveiligheid van het Ministerie van Arbeid en Tewerkstelling, voor wat betreft de onder hun toezicht staande gevaarlijke, ongezonde of hinderlijke inrichtingen;
4. de technische ambtenaren van de provincies, van de agglomeraties en federaties van gemeenten, en van de gemeenten welke daartoe door Ons zijn aangeduid.

## **8.1.4 Wet van 18 juli 1973 betreffende de bestrijding van geluidshinder**

### **8.1.4.1 Art. 1.**

De koning kan, ter bevordering van de gezondheid van de mens, de nodige maatregelen treffen om de geluidshinder, voortkomende van vaste of mobiele, blijvende of tijdelijke geluidsbronnen, te voorkomen of te bestrijden, en met name:

1. het veroorzaken van bepaalde soorten lawaai verbieden;
2. het veroorzaken van bepaalde soorten lawaai aan restrictiemaatregelen onderwerpen en onder meer de duur van het veroorzaken van lawaai beperken;
3. de invoer, de fabricage, de uitvoer, de doorvoer, het vervoer, het te koop aanbieden, de verkoop, het afstaan onder bezwarende titel of om niet, de werderverkoop, de installatie en het gebruik van toestellen, inrichtingen of voorwerpen regelen of verbieden, die bepaalde soorten lawaai veroorzaken of kunnen veroorzaken;

4. de plaatsing van het gebruik van toestellen of inrichtingen om het lawaai te dempen, het op te slorpen, dan wel de nadelen ervan te verhelpen, opleggen en regelen;
5. beschermingszones oprichten ten gunste waarvan specifieke maatregelen kunnen worden genomen. Deze zones komen onder meer overeen met de woonzones, de industriezones, de recreatiecentra en met gebieden die bijzonder stiltebehoevend zijn.

De ter uitvoering van vorig lid te treffen maatregelen zullen betrekking hebben op de geluidshinder veroorzaakt onder meer door de motorvoertuigen (vrachtwagens, personenwagens, mototrijtuigen, motorfietsen), de vliegtuigen, de hefschroefvliegtuigen, de spoorwegwagens, de geluidsignalisatie aan onbewaakte overwegen, de vaartuigen, de machines opgesteld in werkplaatsen en fabrieken, de machines opgesteld op bouwerven en de huishoudelijke toestellen.

#### **8.1.4.2 Art. 2.**

De Koning kan, tot dezelfde doeleinden, technische bouw- en installatieeisen opleggen die de hinder en de voortplanting van het geluid kunnen verhelpen.

Inzonderheid kan de Koning bij het anleggen van nieuwe of bij het uitbreiden van bestaande autowegen, spoorwegen, vlieghavens of bij het opstellen van gewestplannen of bijzondere plannen van aanleg, technische voorwaarden opleggen om geluidshinder te beperken.

#### **8.1.4.3 Art. 3.**

Met betrekking tot de vakopleiding en de vestigingseisen voor het personeel dat kan worden belast met het plaatsen of het onderhouden van inrichtingen en toestellen die het veroorzaken van lawaai kunnen tegengaan, kan de Koning bijzondere eisen opleggen om in de toepassing van deze wet en de ter uitvoering ervan vastgestelde besluiten te voorzien.

Vergelijking tussen de 2 soorten golven

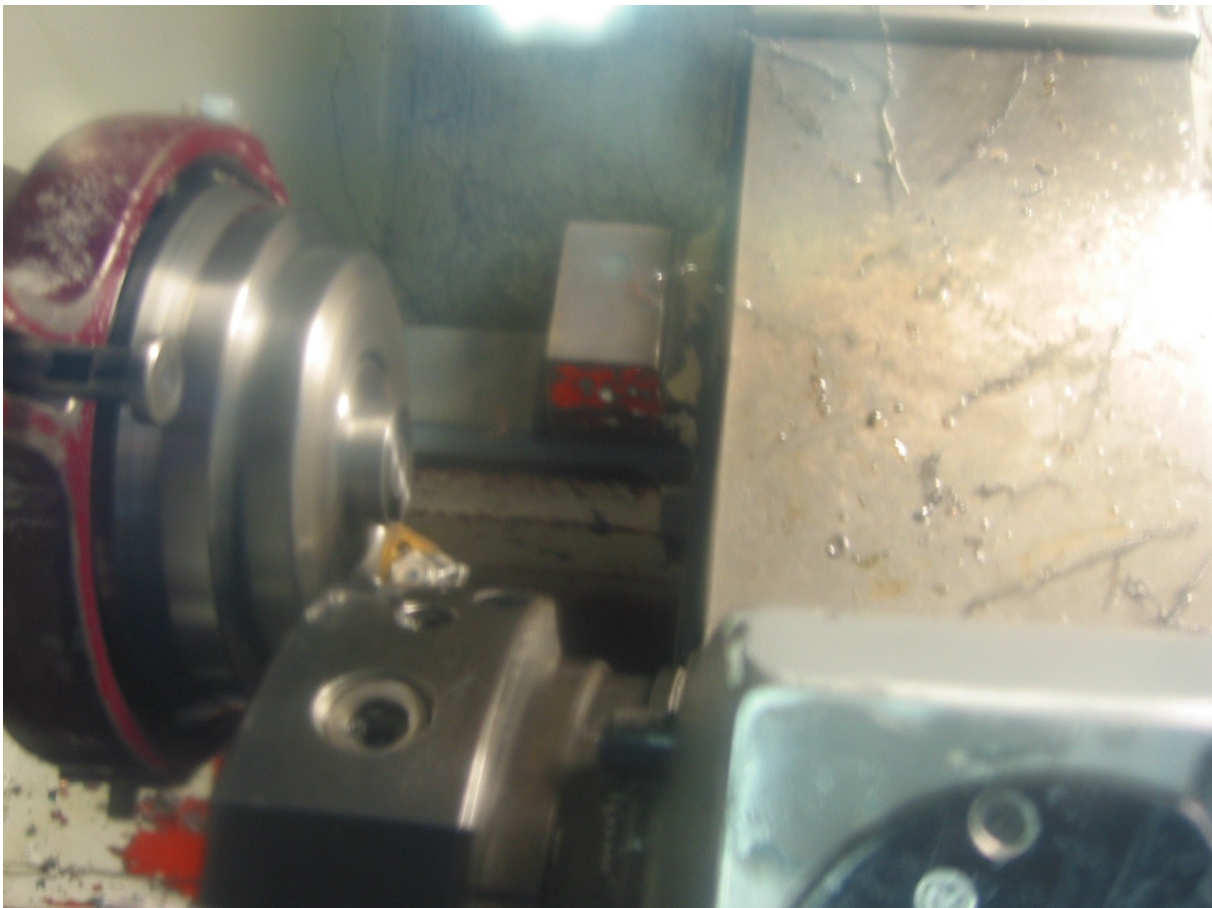
[http://www.walburgcollege.nl/vakken/natuurkunde/ntnujava/waveType\\_nl/waveType\\_nl.html](http://www.walburgcollege.nl/vakken/natuurkunde/ntnujava/waveType_nl/waveType_nl.html)

## 9 Bronnen

- Beginselen van golven
- Golven fysica voor hogeschool
- Leerstof fysica
- <http://www.lin.vlaanderen.be/awz/hydro/www/theorie/golftheorie/golftheorie.htm>

[http://www.walburgcollege.nl/vakken/natuurkunde/ntnujava/waveType\\_nl/waveType\\_nl.html](http://www.walburgcollege.nl/vakken/natuurkunde/ntnujava/waveType_nl/waveType_nl.html)

## 10 Foto's



**Figuur 21:** vlak draaien van het werkstuk



**Figuur 22: het vlakgedraaide werkstuk**



Figuur 23: tabel, houder, cooter





**Figuur 24: opstelling om de cooter door het werkstuk te duwen**



**Figuur 25: afgewerkte werkstuk**



**Figuur 26: opstelling rimpeltank met 1 dobber**



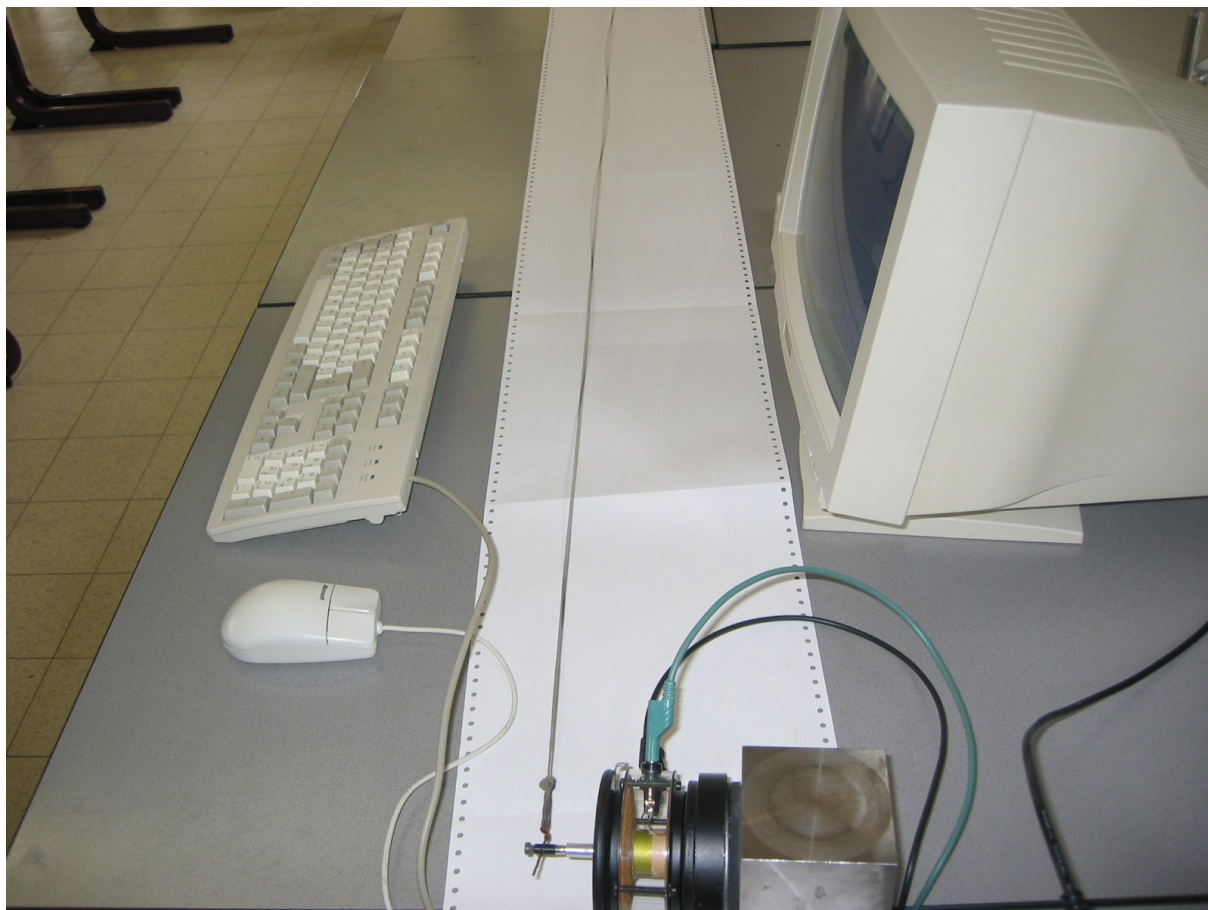
**Figuur 27: motor en frequentie regelaar**



**Figuur 28: 2 stemvorken die dezelfde resonantie frequentie hebben**



**Figuur 29: de wieg van newton**



**Figuur 30: aantonen van staande golven**

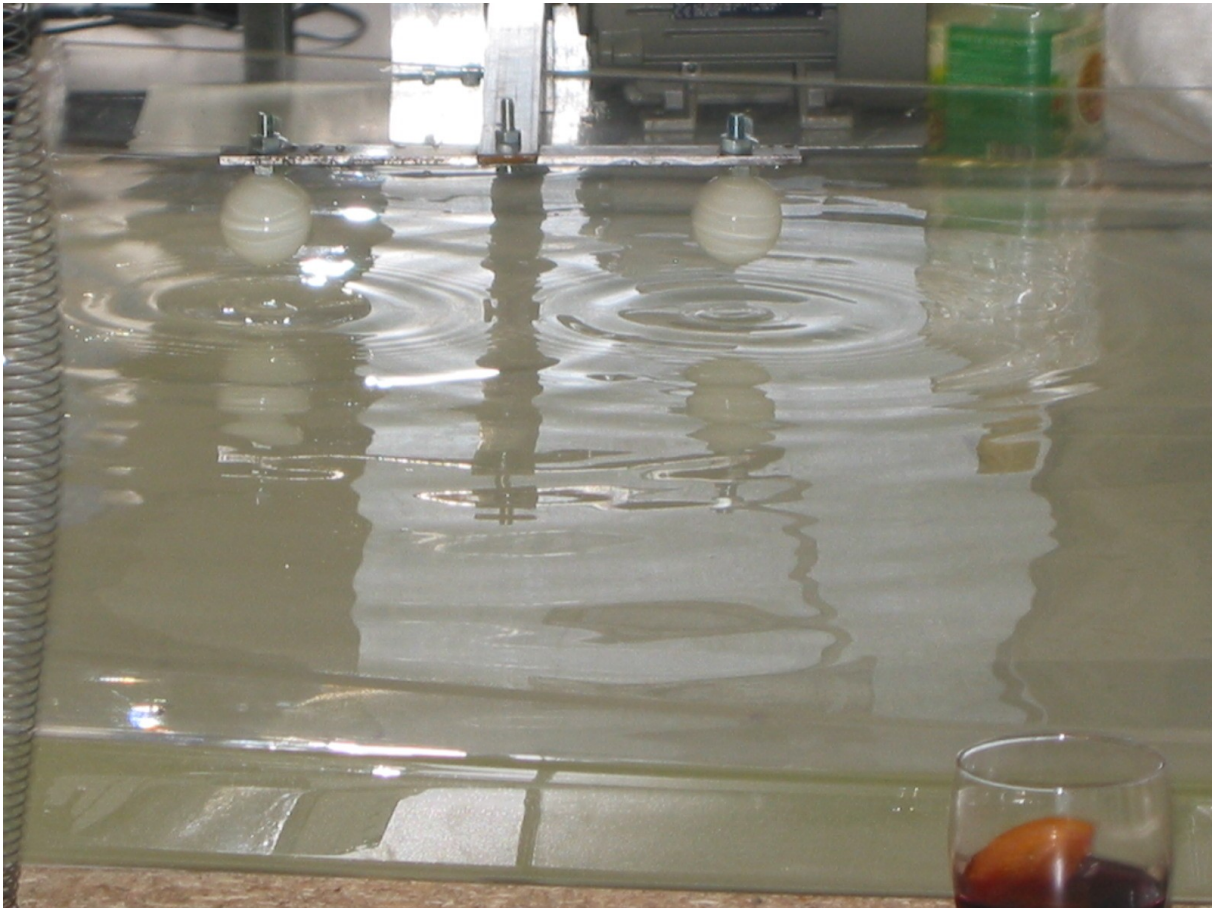


**Figuur 31: proef van Kundt**



Figuur 32: frequentie generator voor de proef van Kundt





Figuur 33: interferentie van golven

## 11 Besluit

De werking van het oor kan grofweg als volgt worden uitgelegd: een drukgolf die toe komt het trommelvlies, deze laat de gehoorsbeentjes trillen, hierdoor komt de vloeistof in het slakkenhuis in beweging, deze laat de haartjes in het slakkenhuis bewegen, de bewegende haartjes zorgen voor een spanningsverschil en laten zo de zenuw vuren, in de hersenen wordt het signaal omgezet in geluid. Dus geluid wordt steeds objectief waargenomen.

Een onderwerp dat de laatste tijd vaak in de media komt, is gehoorschade en dit komt steeds vaker voor bij jonge mensen. Dit is vooral te wijten aan de mp3 en fuiven.

Geluid is een trilling, een trilling is een golf. Er bestaan 2 soorten golven. Longitudinale en transversale. Geluid is een longitudinale, maar de eigenschappen van de 2 soorten zijn dezelfde. Dus kan men geluid bespreken, alsof het een transversale golf is.

Er bestaan verschillende soorten geluid: infrason en ultrasoon.

Een golf heeft altijd een golflengte, frequentie, amplitude en voortplantingssnelheid. Deze 4 kunnen we aantonen met de opgestelde proeven.

Wij hebben 1 proef er specifiek uitgenomen om dieper te bespreken, met name de rimpeltank. Bij deze proef kunnen we interferentie aantonen. Interferentie is wanneer 2 bronnen in fase zijn, wat er gebeurt als de uitgestuurde golven van de bronnen met elkaar in contact komen. Aan de hand van de proeven hebben we kunnen besluiten dat deze golven elkaar op bepaalde momenten gaan versterken of verzwakken.

Het Doppler effect, zoals men dit kent bij een ziekenwagen, is besproken in theorie, maar is niet praktisch uitgevoerd. Met het Doppler effect kan men het geluid van de komende en verlatende straaljager uitleggen en ook uitleggen wat die knal is als een straaljager overvliegt.