

Blok 5

INHOUD

BASISSTOF

- T1** Geluid, waar denk je aan? 154
W1 156
T2 Van bron via medium naar
ontvanger 157
W2 161
T3 Geluid zichtbaar maken 162
W3 166
T4 Geluidshinder, wat doe je
daaraan? 168
W4 173
T5 Daar zit muziek in 173
W5 177

HERHAALSTOF

- H1** Geluid maken en horen 179
H2 Geluid en trillingen 181
H3 Geluid en muziek 185
H4 Geluid en overlast 188

EXTRASTOF

- E1** Geluid op weg 190
E2 De luidspreker 194
E3 Geluid rondom je school 196
E4 Oefenvragen en opgaven 198

LEERDOELEN

- 1 Je moet de drie eigenschappen kennen waaraan je geluid kunt herkennen. [P1, T1, W1]
- 2 Je moet weten wat de eenheid van geluidsterkte is en de afkorting kennen. [T1, W1, P4, T4, W4]
- 3 Je moet weten wat we met de frequentie bedoelen en het symbool voor frequentie kennen. [T1, W1]
- 4 Je moet weten wat de eenheid van frequentie is en de afkorting kennen. [T1, W1, P2, T2, W2]
- 5 Je moet geluiden met en zonder functie kunnen onderscheiden. [P1, T1, W1]
- 6 Je moet drie redenen kunnen noemen waarom het 'geluidsmilieu' van belang is voor de mens. [T1]
- 7 Je moet aan kunnen geven welke invloed de mens heeft op het milieu als het gaat om geluid. [T1, W1]
- 8 Je moet vier mogelijke gevolgen van geluidshinder kunnen noemen. [T1, W1]
- 9 Je moet het menselijk oor schematisch kunnen tekenen en uit kunnen leggen hoe we met onze oren horen. [T2, T5]
- 10 Je moet twee soorten geluidsontvangers kunnen noemen. [P2, T2]
- 11 Je moet weten hoe een geluidsbron geluid maakt. [P2, T2, W2]
- 12 Je moet een aantal geluidsbronnen kunnen noemen. [P2, T2, W2]
- 13 Je moet minstens twee proeven kunnen beschrijven waaruit blijkt dat er voor geluidsoverdracht een medium nodig is tussen de geluidsbron en de geluidsontvanger. [P2, T2, W2]
- 14 Je moet in een bepaalde situatie kunnen aangeven wat het medium is. [P2, T2, W2]
- 15 Je moet weten wat een trilling is en wat met de trillingstijd bedoeld wordt. [T2, W2]

Geluid



- 16 Je moet het verband kennen tussen trillingstijd en frequentie. [T2, W2]
- 17 Je moet weten dat de geluidssnelheid afhangt van het medium. [P2, T2, W2]
- 18 Je moet weten dat geluid kan worden geabsorbeerd en teruggekaatst. [T2, W2, T4]
- 19 Je moet met behulp van een echo de geluidssnelheid kunnen bepalen. [T2, W2]
- 20 Je moet weten wat een audiogram is en uit kunnen leggen hoe dit er uitziet voor de mens. [T2, W2]
- 21 Je moet weten hoe het audiogram verandert voor mensen met een gehoorbeschadiging en ouder wordende mensen. [T2, W2]
- 22 Je moet weten wat bedoeld wordt met gehoordrempel en frequentiebereik. [P2, T2, W2]
- 23 Je moet weten dat je met een microfoon en een oscilloscoop geluid zichtbaar kunt maken. [P3, T3, W3]
- 24 Je moet weten dat op het scherm van de oscilloscoop een uitwijking, tijd-diagram (u, t -diagram) te zien is. [T3, W3]
- 25 Je moet weten wat met de amplitude van een trilling bedoeld wordt en het symbool voor de amplitude kennen. [T3, W3]
- 26 Je moet uit het (u, t)-diagram op het scherm van een oscilloscoop de amplitude en de trillingstijd kunnen bepalen. [P3, T3, W3]
- 27 Je moet weten dat het (u, t)-diagram van een enkelvoudige toon er uitziet als een regelmatig patroon van bergen en dalen. [P3, T3, W3]
- 28 Je moet weten wat een gedempte trilling is en aan kunnen geven hoe je deze trilling kunt herkennen aan het (u, t)-diagram. [T3, W3]
- 29 Je moet weten op welke drie manieren je geluidshinder kunt beperken. [T4, W4]
- 30 Je moet aan kunnen geven welke manier de beste is en waarom. [T4, W4]
- 31 Je moet vijf maatregelen kunnen noemen om geluidshinder te beperken. [T4, W4]
- 32 Je moet weten dat de geluidsterkte afneemt als de afstand tussen de geluidsbron en de ontvanger wordt vergroot. [P4, T4, W4]
- 33 Je moet weten dat geluiddempende materialen veel lucht bevatten. [P4, T4, W4]
- 34 Je moet weten wat het verschil is tussen de geluidsterkte in dB en in dB(A). [T4, W4]
- 35 Je moet bij het oplossen van een geluidshinderprobleem op basis van argumenten een bewuste keuze kunnen maken. [T4, W4]
- 36 Je moet drie beroepen kunnen noemen waarvoor de kennis van geluid belangrijk is. [T2, T4, W4]
- 37 Je moet de vier soorten muziekinstrumenten kennen. [P5, T5, W5]
- 38 Je moet kunnen aangeven wanneer er sprake is van resonantie. [P5, T5, W5]
- 39 Je moet kunnen aangeven wat de functie is van de klankkast en wat het verband is tussen de grootte van de klankkast en de tonen die het muziekinstrument voortbrengt. [P5, T5, W5]
- 40 Je moet kunnen uitleggen waarom dezelfde toon verschillend klinkt als hij wordt gespeeld op verschillende instrumenten. [T5, W5]
- 41 Je moet weten wat een frequentiekaracteristiek is en uit de frequentiekaracteristiek het frequentiebereik kunnen bepalen. [T5, W5]
- 42 Je moet weten hoe de toonhoogte van een snaar afhangt van de lengte, de dikte en de snaarspanning. [P5, T5, W5]

T1 Geluid, waar denk je aan?

Stilte, echte stilte, hoor je niet vaak meer. Meestal zijn er wel dingen om ons heen die geluid maken. Vaak vind je het fijn om geluiden te horen. De radio, televisie, onze stem en muziekinstrumenten maken geluid dat je niet wilt missen. Maar soms kunnen geluiden zo hard zijn dat je er last van hebt. Denk maar aan een laag overvliegend vliegtuig, een drukke snelweg voor de deur, of aan lawaai in de klas als jij nog net even iets voor het proefwerk wilt nakijken. Een popgroep kan zelfs zo hard spelen dat je je oren wilt dichtstoppen (figuur 1).

Eigenschappen van geluid

Er zijn drie eigenschappen waaraan je geluid kunt herkennen.

Je hebt harde en zachte geluiden. Je hebt het dan over de *sterkte van het geluid*. De geluidssterkte kun je meten met een *decibelmeter*. De eenheid van geluidssterkte is de *decibel*; afgekort dB.

FIG. 1 Een popconcert van Take that.



Je kunt ook letten op de *toonhoogte*. Je hebt hoge en lage geluiden. De toonhoogte wordt aangegeven met de grootheid '*frequentie*'. De eenheid van frequentie is de *hertz*; afgekort Hz.

Tenslotte kun je geluiden ook herkennen aan de *klank*. Een bepaalde toon van een stemvork klinkt anders dan dezelfde toon van een blokfluit of gitaar. Je hebt het dan over de *klankkleur* van het geluid.



DE 'STEMTOON' A

De toon A op een piano uit het 'dubbel gestreept octaaf' heeft een frequentie van 440 Hz. Op deze toon worden instrumenten steeds afgestemd.



HEINRICH HERTZ

De eenheid Hz is genoemd naar de Duitse natuurkundige Heinrich Hertz (1857 - 1894). Hertz bedacht hoe je met een zender en ontvanger berichten kunt overbrengen (figuur 2). Voor hoge frequenties worden voorvoegsels gebruikt.

$1000 \text{ Hz} = 1 \text{ kHz}$

$1\,000\,000 \text{ Hz} = 1 \text{ MHz}$



FIG. 2 Heinrich Hertz.

Geluid met of zonder functie

Geluid is in de natuur steeds aanwezig. Denk aan het ritselen van de blaadjes, het ruisen van de branding en de donder na de bliksem. Denk ook aan de kraaiende haan, het mekkerende schaap en de grommende of blaffende hond (figuur 3). Je hebt het dan over *natuurlijke geluiden*.

Als dieren geluid maken, heeft dat bijna altijd een bedoeling. Dieren willen via geluid 'praten'. De kraaiende haan waarschuwt zijn kippen dat het tijd wordt om op te staan. Bij een grommende hond kun je maar beter uit de buurt blijven.

Ook mensen doen veel dingen die geluid maken. Soms is dat met opzet, maar vaak ook niet. Geluid is één van de middelen om te communiceren.

Geluid in de vorm van muziek is bedoeld als ontspanning. Geluid kan ook een onbedoeld effect zijn van bepaalde activiteiten. Denk aan het geluid van machines in een fabriek of van auto's op een snelweg.

Geluid en milieu

Door de toename van de bevolking en de welvaart is de hoeveelheid geluid sterk toegenomen. En dat heeft gevolgen voor mens en milieu. Het milieu is van belang voor onze gezondheid en ons welzijn. Ook door de toename van geluid komen deze functies soms in het gedrang.

Het ontbreken van stilte en rust kan leiden tot *stress* bij mens en dier. Door het optreden van stress bij dieren kunnen bepaalde diersoorten verdwijnen. Het ecologisch evenwicht kan verstoord worden. Zo treedt een verarming op van het milieu. Het milieu wordt minder waardevol en minder mooi. Mensen krijgen hoofdpijn, worden misselijk of krijgen last van hoge bloeddruk. Ze voelen zich ziek.

Heel harde geluiden kunnen zelfs gehoorbeschadiging tot gevolg hebben. Als je een concert van je favoriete popgroep bezocht hebt, kun je last hebben van piepende oren. Die pieptoon verdwijnt na een tijdje weer. Bij popmuzikanten die regelmatig bloot staan aan harde geluiden, ontstaat blijvende *gehoorbeschadiging*. Meestal horen ze geen hoge tonen meer.

FIG. 3 Bij het eerste sprankje licht.

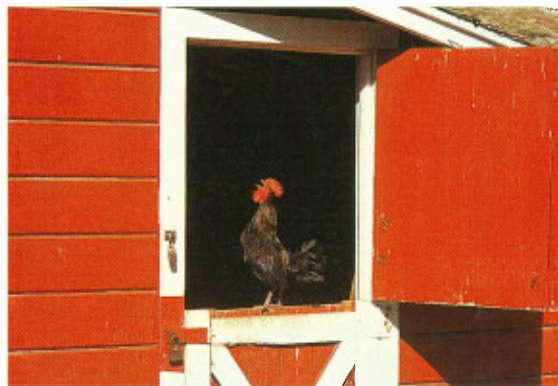


FIG. 4 Percentage van de Nederlandse bevolking dat regelmatig of ernstig wordt gehinderd door geluid.

geluidsbron	regelmatig hinder	ernstige hinder
wegverkeer	50 %	20 %
buren	40 %	15 %
vliegtuigen	28 %	11 %
industrie	8 %	3 %
diversen	6 %	1 %

Hinder door geluid

Geluid hoort in ons milieu thuis. Maar te veel geluid kan problemen geven. Je hebt het dan over *geluidshinder*. Wat 'teveel' is, is voor iedereen verschillend. Wat voor de een een prettig geluid is, kan voor de ander heel vervelend zijn.

Veel mensen in Nederland ondervinden regelmatig geluidshinder (figuur 4).

Of geluid hinderlijk is, hangt niet alleen van de sterkte af. Ook de toonhoogte, de klank, het tijdstip, de situatie en de stemming spelen een rol. Wat voor de een heerlijke muziek is, kan voor de ander een ramp zijn. Voor de een is een autorace zonder gierende motoren ondenkbaar; voor de ander kan het een nachtmerrie zijn.



MEDICIJNENGEBRUIK ZWANENBURG

Onderzoek heeft aangetoond dat mensen die veel last hebben van geluidshinder, meer medicijnen gebruiken. Figuur 5 laat zien dat het gemiddelde medicijngebruik in Zwanenburg hoger is dan in Uithoorn. Zwanenburg ligt in de aanvliegroute van Schiphol, Uithoorn niet (figuur 6). Vliegtuiglawaai veroorzaakt kennelijk schade aan de gezondheid.

FIG. 5 Het percentage gebruikers van diverse medicijnen in plaatsen rondom Schiphol.

geneesmiddelen	Zwanenburg	Uithoorn
slaappillen	15 %	7 %
maagtabletten	11 %	6 %
bloeddruk-verlagende pillen	28 %	13 %
kalmerende pillen	72 %	61 %

FIG. 6 De omgeving van Schiphol. De lijnen van gelijke geluidsbelasting zijn duidelijk herkenbaar. De geluidsbelasting is uitgedrukt in kosteneenheden (Ke).



BLOK 5 BASISSTOF

W1

- 1 Noem drie spreekwoorden waarin geluid een rol speelt. Wat betekenen deze spreekwoorden?
- 2 Mensen communiceren met elkaar door te praten. Op welke andere manieren kunnen mensen met elkaar communiceren?
- 3 **a** Aan welke drie eigenschappen kun je geluiden herkennen?
b Welke van deze eigenschappen zijn grootheden? Noem de bijbehorende eenheid.
- 4 Noem een dierengeluid dat geen functie heeft.
- 5 **a** Welke gevolgen kan geluidshinder hebben voor het milieu (mens en dier)?
b Hoe zou je de geluidsoverlast in natuurgebieden kunnen beperken?
- 6 **a** Noem drie geluiden waarvan jij regelmatig last hebt.
b Hoe zou jij deze 'geluidsoverlast' op willen lossen?
c Wat zou je zelf kunnen doen om de geluidsoverlast voor anderen te beperken?

T2 Van bron via medium naar ontvanger

Geluidsontvangers

Je neemt geluid waar met je oren. Je hoort geluid. Je trommelvlies wordt door bewegende lucht in trilling gebracht. Via de gehoorbeentjes wordt die trilling overgebracht naar de vloeistof in het slakkehuis (figuur 7). In het slakkehuis zitten *haarcellen*. Die haarcellen zetten de vloeistof-trillingen om in elektrische signalen. Deze signalen gaan via de gehoorzenuw naar je hersenen. Daar herken je de signalen als geluid met een bepaalde sterkte, hoogte en klankkleur. Je oren zijn geluidsontvangers.



GELUIDSSENSOREN

Geluidsontvangers worden ook wel geluidssensoren genoemd. Geluidssensor betekent letterlijk 'geluidsvoller'.



VOELBAAR GELUID

Harde geluiden kun je niet alleen horen maar ook voelen. Vooral lage tonen doen je buikwand letterlijk schudden.

FIG. 8 Een microfoon in gebruik (Mariah Carey).

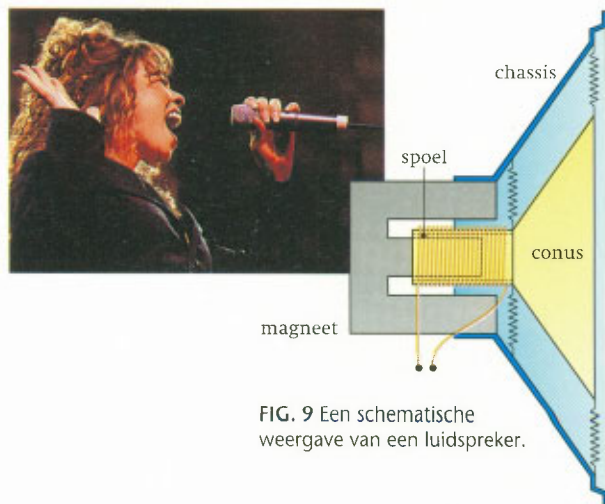


FIG. 9 Een schematische weergave van een luidspreker.

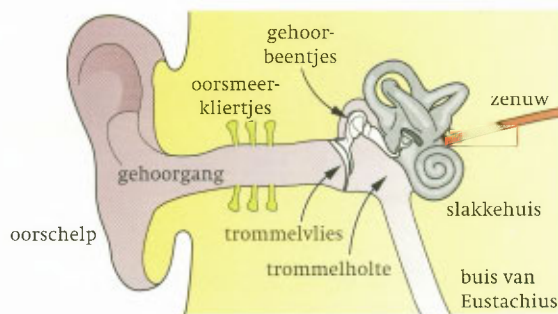


FIG. 7 De inwendige bouw van ons oor.

Een andere soort geluidsontvanger is de *microfoon* (figuur 8). Ook een microfoon maakt van bewegende lucht elektrische signalen. Dat gebeurt echter op een andere manier dan bij ons oor. De elektrische signalen geven weer hoe de lucht voor de microfoon beweegt.

Geluidsbronnen

Geluidsbronnen zijn dingen die geluid maken.

Daarvoor moet er iets bewegen of trillen. Bij de *menseelijke stem* zijn dat de stembanden, die de langsstromende lucht in trilling brengt. Bij een *fietsbel* zijn het ijzeren ringetjes die tegen de beldop aanslaan; bij een *kerkklok* is het de klepel die de klok in trilling brengt. Een *luidspreker* zet elektrische signalen om in geluid. Het bewegende deel van de luidspreker is de *conus* (figuur 9). De conus brengt de lucht in beweging. Dat kun je zien als je een kaarsvlam voor de conus houdt. Bij lage tonen zie je de vlam flakkeren.

Trillingen zijn op en neer of heen en weer gaande bewegingen die zich steeds herhalen.

Met *één trilling* bedoelen we één volledige heen en weer gaande beweging (figuur 10). Er is dus één hele trilling uitgevoerd als het trillende punt weer op dezelfde plaats is en in dezelfde richting beweegt als eerst.

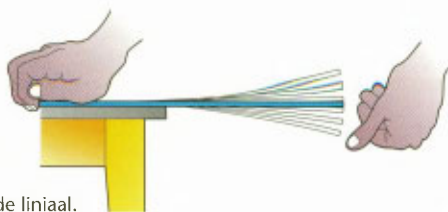


FIG. 10 Een trillende liniaal.

De *trillingstijd* (T) is de tijd die nodig is voor één trilling. De trillingstijd wordt meestal gegeven in seconden (s).

De sterkte, de hoogte en de klankkleur van het geluid dat je hoort wordt bepaald door de manier van trillen of bewegen.

Zo wordt de *sterkte van het geluid* bepaald door de grootte van de uitslag van de trilling. Bij een luidspreker hangt dat af van de uitslag van de conus. Hoe groter de uitslag, des te sterker is het geluid.

De *hoogte van het geluid* hangt af van de tijd die één trilling duurt. Hoe meer trillingen per seconde des te hoger is het geluid.

Met de trillingstijd is het aantal trillingen per seconde te berekenen. We noemen dit de *frequentie* (f). De frequentie wordt uitgedrukt in hertz; afgekort Hz. Er geldt:

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

Bij iedere toon hoort een bepaalde frequentie.

VOORBEELD 1: Bij een trillingstijd van 0,02 s is de frequentie:

$$f = 1 : 0,02 = 50 \text{ Hz}$$

VOORBEELD 2: Een frequentie van 10 Hz betekent: 10 trillingen per seconde. De trillingstijd is dan 0,1 s.

De voortplanting van geluid

Geluid gaat van de ene plek naar de andere. Geluid beweegt; plant zich voort van bron naar ontvanger. Daar is een tussenstof of '*medium*' voor nodig. Meestal is dat lucht.

Als je een rinkelende bel onder een stolp plaatst en je zuigt de lucht onder de stolp weg, hoor je na enige tijd bijna niets meer (figuur 11). De lucht is blijkbaar nodig om het geluid over te brengen.

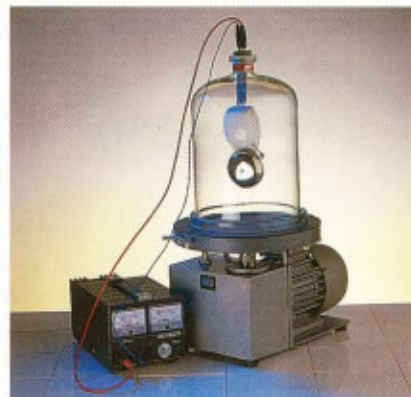
Geluid kan zich óók voortplanten door *vloeistoffen* en *vaste stoffen*. Denk aan de geluiden die je onder water hoort als je in bad zit of onder water zwemt. Denk ook aan de indiaan, die met het oor op de rails de komst van het 'ijzeren paard' voorspelt. Of denk aan het feestje van je ouders, waarbij je via de vloer en de verwarmingspijpen uit je slaap wordt gehouden.

Juist het medium biedt mogelijkheden om geluidshinder te beperken. Als je tussen bron en ontvanger een stof aanbrengt die het geluid slecht doorgeeft, zal de ontvanger tevreden zijn. We komen hier in T4 op terug.

De geluidssnelheid

De snelheid waarmee geluid zich voortplant is vrij groot. Toch merk je dat geluid tijd nodig heeft om zich voort te planten. Als je op een afstand naar het heien kijkt zie je eerst het heiblok op de paal terecht komen. Even later hoor je de daarbij horende klap pas. In lucht beweegt geluid met een snelheid van 340 meter per seconde: $v_{\text{lucht}} = 340 \text{ m/s}$. De toevoeging 'lucht' is nodig, omdat de geluidssnelheid in elke stof anders is.

FIG. 11 Een rinkelende bel onder een vacuümsolp.



In de tabel van figuur 12 zie je de geluidssnelheid voor een aantal stoffen. Je kunt de geluidssnelheid bepalen door te meten hoe lang het geluid erover doet om een bepaalde afstand af te leggen. Met een computer gaat dit prima.



GELUIDSSNELHEID EN TEMPERatuur

De geluidssnelheid in lucht is niet altijd 340 m/s. Dat is alleen zo bij 14 °C. De geluidssnelheid hangt ook af van de temperatuur. Bij 0 °C is de geluidssnelheid in lucht 332 m/s; bij 40 °C is dat 354 m/s



BEREKENING VAN DE AFSTAND TOT DE GELUIDSBRON

Als je na 2 seconden de klap van het heiblok hoort, sta je op een afstand van:

$$s = 340 \times 2 = 680 \text{ m}$$

De lichtsnelheid is zó groot dat je de tijd die het licht er over doet mag verwaarlozen.



GELUIDSSNELHEID EN FASE

In figuur 12 zie je dat de voortplantingssnelheid van het geluid in vloeistoffen groter is dan in gasen. In vaste stoffen is de geluidssnelheid weer groter dan in vloeistoffen.

Dat is natuurlijk niet toevallig. Uit het molekuulmodel weet je dat de cohesie tussen de molekulen van gas naar vloeistof naar vast sterk toeneemt. Hoe groter de cohesie, hoe sterker de koppeling tussen de molekulen. En hoe sterker de molekulen zijn gekoppeld, hoe sneller het geluid zich voortplant.

Als een stof elastisch is (rubber) of veel lucht bevat (kurk) plant het geluid zich langzamer voort.

De afstand die geluid aflegt, bereken je met:

$$s = v_{\text{geluid}} \cdot t$$

Nagalm en echo

Geluid kan door stoffen of voorwerpen geabsorbeerd worden. Geluid kan ook teruggekaatst worden. Als de afstand waarover het geluid wordt teruggekaatst groot genoeg is, hoor je het teruggekaatste geluid later dan het oorspronkelijke geluid. Dit verschijnsel veroorzaakt nagalm of echo.

Bij *nagalm* zijn het oorspronkelijke en het teruggekaatste geluid niet apart te onderscheiden. Bij een *echo* is dat wel zo.



WANNEER HOOR JE EEN ECHO?

Je hoort geluiden gescheiden als er minstens 0,1 s zit tussen het oorspronkelijke en het teruggekaatste geluid. In die tijd legt het geluid $340 \times 0,1 = 34 \text{ m}$ af. Een echoput (figuur 13) moet dus minstens 17 m diep zijn om een echte echo te kunnen horen!

FIG. 12 Geluidssnelheden in verschillende stoffen.

soort stof	stof	geluidssnelheid (km/s)
gas	helium	0,965
	koolstofdioxide	0,259
	lucht (0 °C)	0,332
	lucht (20 °C)	0,343
vloeistof	alcohol	1,17
	olie	1,5
	water (0 °C)	1,40
	water (20 °C)	1,48
	zeewater	1,51
vaste stof	been (massief)	3,0
	been (poreus)	2,6
	beton	4,3
	glas	4,0
	ijs	3,28
	kurk	0,5
	rubber	0,05
	staal	5,1



FIG. 13

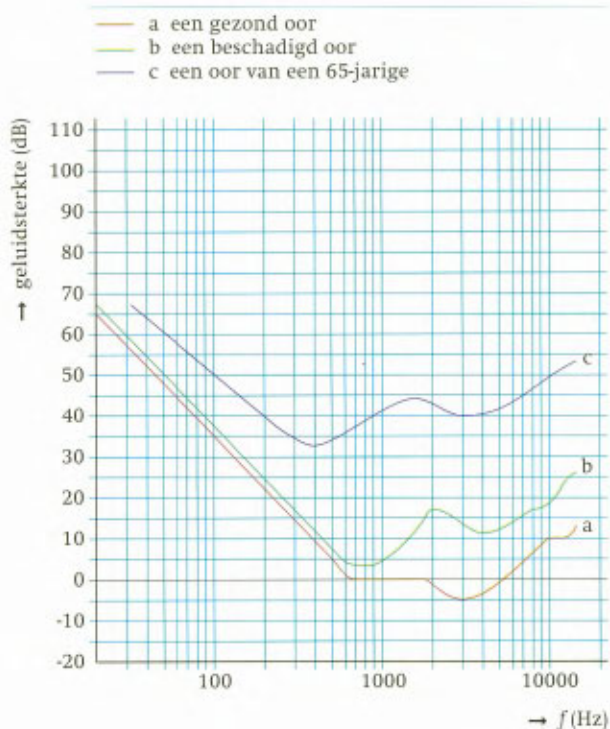
Audiogrammen

Onze oren horen niet alle tonen even goed. Bepaalde frequenties kunnen we zelfs helemaal niet horen. De frequenties die we wel kunnen horen, vormen samen ons *frequentiebereik*.

Voor een gezond (menselijk) oor liggen de gehoor-grenzen tussen 20 Hz en 20 000 Hz. Frequenties tussen de 1,0 en 5,0 kHz (onze spraakfrequenties) horen we het best.

De geluidsterkte die we nog net horen noemen we de *gehoordrempel*. In figuur 14 zie je een grafiek die het verband geeft tussen de frequentie en de gehoordrempel. Uit de grafiek van figuur 14a blijkt dat tussen 0,7 en 5,0 kHz de gehoordrempel bij 0 dB ligt. Bij lagere en hogere frequenties ligt de gehoordrempel bij grotere geluidsterkten.

FIG. 14 Drie audiogrammen. (Let op de niet-lineaire schaalverdeling langs de horizontale as.)



ULTRASOON GELUID

Frequenties boven de gehoorgrens van 20 kHz noemen we *ultrasoon*. Allerlei diersoorten kunnen (voor ons) ultrasoon geluid wel horen. Zo is bekend dat honden hogere tonen kunnen horen dan mensen (tot 25 kHz). Bij vleermuizen ligt de bovenste gehoorgrens zelfs bij 100 kHz.

Gehoorbeschadiging

Mensen die regelmatig bloot staan aan harde geluiden, krijgen last van gehoorbeschadiging. Ze horen bepaalde frequenties niet goed meer. De geluidsterkte moet dan flink hoger zijn om deze tonen te kunnen horen (figuur 14b).

Vanaf ongeveer 18 jaar vermindert de gevoeligheid van onze oren voor hogere frequenties. De bovenste gehoorgrens daalt. Bij oudere mensen kan die grens gezakt zijn tot 10 kHz of nog lager. Dat is te zien aan het audiogram. De grafiek loopt bij hoge frequenties omhoog (figuur 14c). De onderste gehoorgrens blijft ongeveer 20 Hz.

Een *audioloog* is iemand die veel weet over het gehoor (figuur 15). Daar komt natuurkunde, scheikunde en biologie aan te pas. Door een audiogram op te nemen kan een audioloog vaststellen of er sprake is van een gehoorbeschadiging en zo ja welke. Hij kan ook aangeven hoe het probleem opgelost kan worden.



FIG. 15 Een audioloog aan het werk.



GEHOORVERLIES IN HET SPRAAKGEBIED

Een gehoorverlies van meer dan 20 dB is hinderlijk. Vooral als dit optreedt in het spraakgebied. Een hoortoestel kan in zo'n geval een oplossing bieden.

- 1 a** Wat hebben alle geluidsbronnen met elkaar gemeen?
b Welke energie-omzetting vindt plaats in een luidspreker?
- 2 a** Wat wordt bedoeld met een trilling?
b Maak een aantal tekeningen waaraan je kunt zien hoe een liniaal trilt.
c Wat wordt bedoeld met de trillingstijd?
d Wat wordt bedoeld met de frequentie?
- 3** De conus van een luidspreker voert 12 000 trillingen uit in 3,00 s.
a Bereken de frequentie.
b Bereken de trillingstijd.
- 4** Een A-stemvork trilt met een frequentie van 440 Hz.
Bereken de trillingstijd van de benen van de stemvork.
- 5 a** Wat wordt bedoeld met 'een medium'?
b Vergelijk de geluidssnelheid in verschillende stoffen met elkaar (figuur 12). Wat weet je nu van de geluidssnelheid in gassen, vloeistoffen en vaste stoffen?
- 6** Waarom hoor je een bel onder een stolp niet meer, als de lucht wordt weggezogen?
- 7 a** Kunnen astronauten op de maan met elkaar praten zonder geluidsapparatuur? Licht je antwoord toe.
b Wat is er fout aan een SF-film waarin twee vijandige ruimteschepen elkaar met veel lawaai beschieten?
- 8** Je kunt tijdens een onweer bepalen hoe ver het onweer van je vandaan is. Je moet dan de tijd meten tussen het zien van de bliksem en het horen van de donder.
a Hoe ver is het onweer bij je vandaan als er 10 s zit tussen het zien van de bliksem en het horen van de donder?
b Moet je bij de berekening rekening houden met de lichtsnelheid? Licht je antwoord toe.
- 9** Je staat op 255 m afstand van een rotswand. Je geeft een harde schreeuw en je hoort na 1,5 s de echo.
Bereken de geluidssnelheid.
- 10** Bij welke snelheid gaat een vliegtuig door de geluidsbarrière? Geef de snelheid in m/s en in km/u.
- 11** Jan beweert dat lage tonen zich veel langzamer verplaatsen dan hoge tonen. Annemiek beweert dat lage en hoge tonen zich even snel voortplanten.
a Wie heeft er volgens jou gelijk?
b Bedenk een voorbeeld waaruit dat blijkt.
- 12 a** Wat is het frequentiebereik van een gezond menselijk oor?
b Welke frequenties hoor je het best?
- 13** Figuur 14c toont het audiogram van iemand met een gehoorbeschadiging.
Welke frequenties hoort deze persoon niet goed?
- 14 a** Met een toongenerator en een koptelefoon kun je een 'soort' audiogram van iemand opnemen. Leg uit hoe dat moet.
b Waarom is dit geen echt audiogram?

T3 Geluid zichtbaar maken

Zichtbaar geluid

Met een microfoon en een oscilloscoop kun je het geluid van een stemvork zichtbaar maken (figuur 16). De microfoon zet het geluid om in een elektrisch signaal. De oscilloscoop is een soort televisie. Het elektrisch signaal wordt als een regelmatig golvende lijn zichtbaar op het scherm (figuur 17).

FIG. 16 Een oscilloscoop.

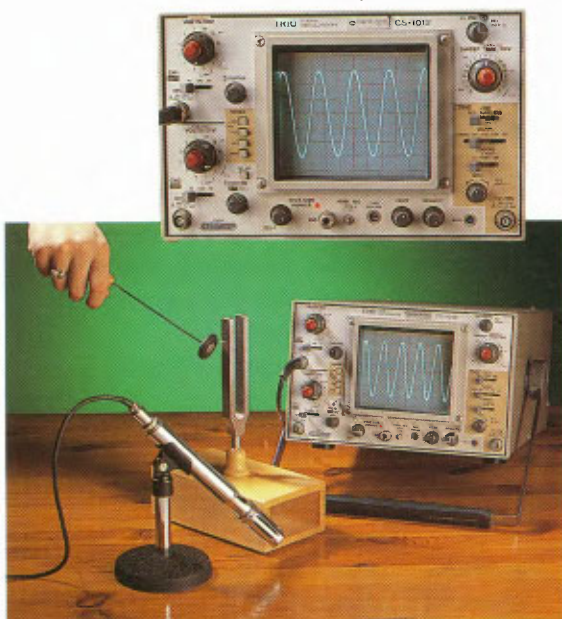
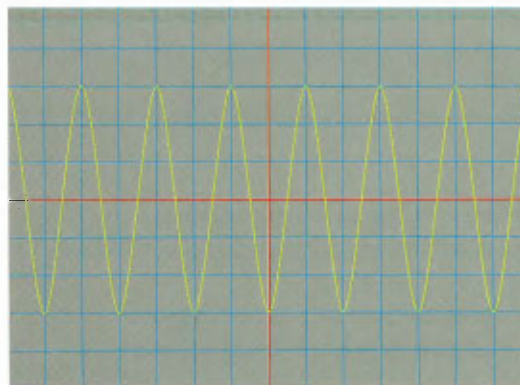
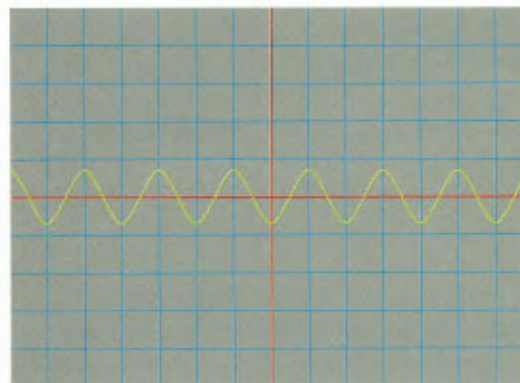


FIG. 17 Het geluid van een stemvork, zichtbaar gemaakt op het scherm van een oscilloscoop.

FIG. 18 Bij harde geluiden (grafiek a) is de amplitude groter dan bij zachte geluiden (grafiek b).



grafiek a

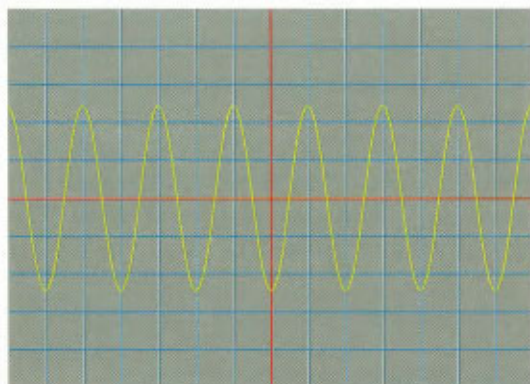


grafiek b

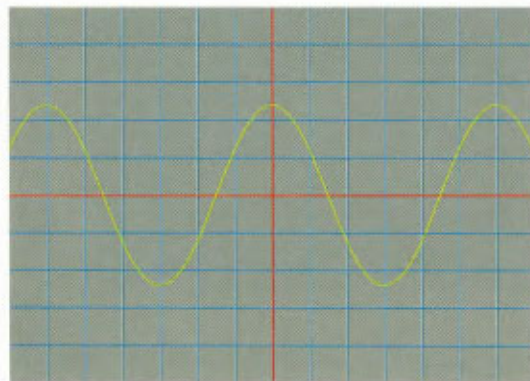
Harde en zachte geluiden

Bij harde geluiden zijn op het oscilloscoopscherm de bergen hoger en de dalen dieper dan bij zachte geluiden (figuur 18). We zeggen dan dat de *amplitude* van het signaal groter is. De amplitude is een maat voor de sterkte van het geluid. De amplitude wordt aangegeven met de hoofdletter *A*.

FIG. 19 Bij hoge tonen (grafiek a) is het aantal bergen en dalen groter dan bij lage tonen (grafiek b).



grafiek a

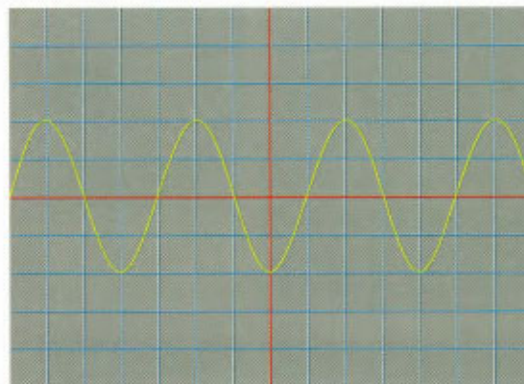


grafiek b

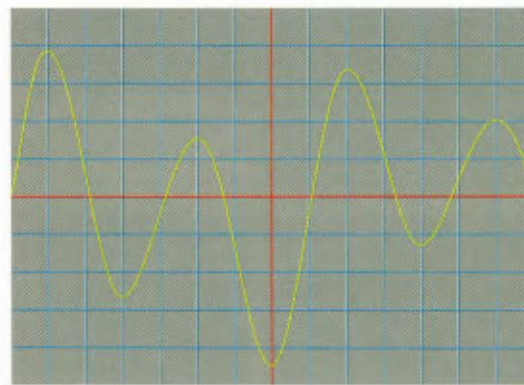
Hoge en lage tonen

Bij hoge tonen zie je op het scherm meer bergen en dalen dan bij lage tonen (figuur 19).

FIG. 20 Dezelfde toon van een stemvork (grafiek a) en een blokfluit (grafiek b).



grafiek a



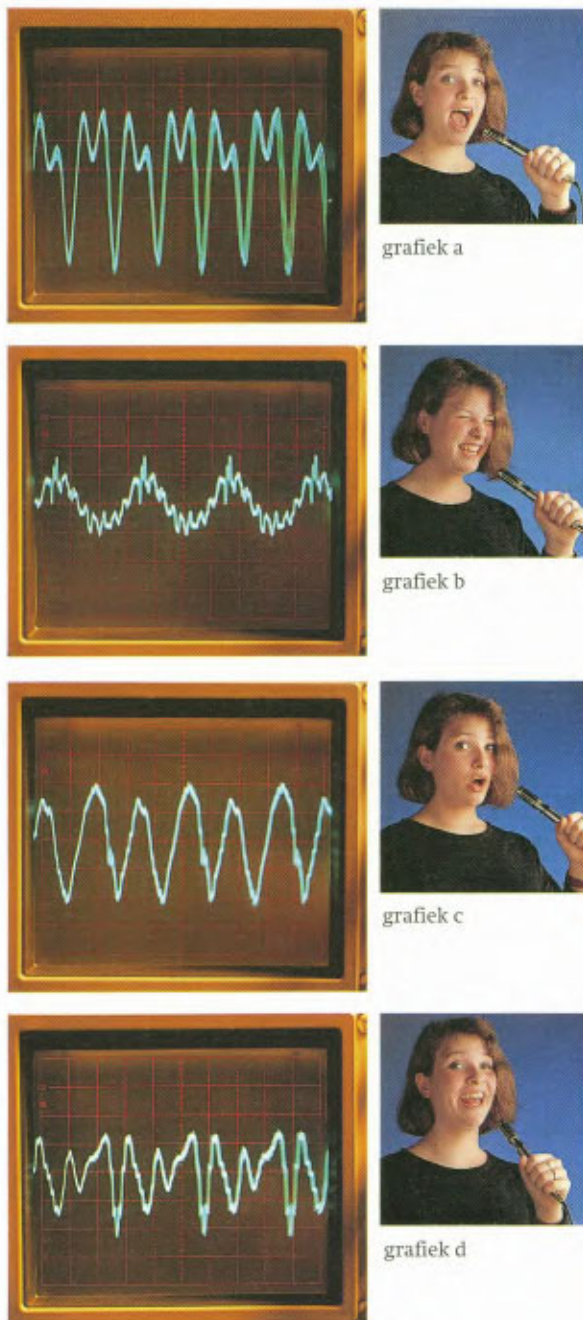
grafiek b

Enkelvoudige en samengestelde tonen

Bij een stemvork is sprake van een *enkelvoudige toon*. Het beeld op het scherm is een regelmatig patroon van bergen en dalen.

Je kunt dezelfde toon spelen op een blokfluit. De figuur op het scherm ziet er dan heel anders uit. Er ontstaat een grillig patroon, dat zich echter wel met dezelfde regelmaat herhaalt (figuur 20). Er is nu sprake van een *samengestelde toon*. Ook bij het zingen van klinkers zie je dit soort grillige figuren ontstaan (figuur 21).

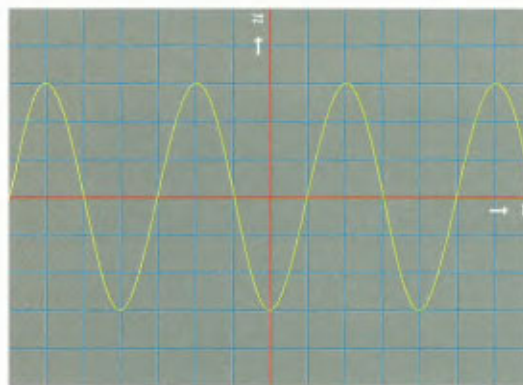
FIG. 21 Een aaaaa (grafiek a), iiiii (grafiek b) ooooo (grafiek c) en eeeee (grafiek d), gezongen op dezelfde toonhoogte.



Een uitwijking-tijddiagram

Je laat een bekertje gevuld met fijn zand slingeren aan een touw. Het bekertje voert een heen en weer gaande beweging uit die zich herhaalt. Je kunt de beweging van het bekertje vastleggen in een zogenaamd *uitwijking-tijddiagram*; kortweg *(u,t)*-diagram. Zo'n diagram geeft het verband tussen de uitwijking van het bekertje (verticaal) en de tijd (horizontaal). Met de uitwijking bedoelen we: de afstand van het bekertje tot het midden (figuur 22).

FIG. 22 Een (u,t) -diagram van een bekertje dat slingeren aan een touw.



Je prikt nu een gaatje in de bodem van het bekertje en trekt een vel papier onder het slingerende bekertje door. Op het papier ontstaat dan een regelmatig patroon van bergen en dalen. Eén berg en één dal samen komt overeen met één volledige slingering (figuur 23).

Als de maximale uitwijking van het bekertje groter is, worden de bergen hoger en de dalen dieper. Als het bekertje sneller slingeren, worden de bergen en dalen smaller.

De vorm van het (u,t) -diagram van het slingerende bekertje lijkt op de golf die een stemvork laat zien op carbonpapier (zie P3). Ook de golf op het scherm van de oscilloscoop lijkt daar op.

Blijkbaar maakt de oscilloscoop een (u,t) -diagram van het geluid dat de microfoon opvangt. Dat diagram weerspiegelt de beweging van het trillend voorwerp dat het geluid veroorzaakt.

Met de 'tijd per hokje'-knop op de oscilloscoop kun je de tijdschaal instellen. De 'uitwijking per hokje'-knop op de oscilloscoop bepaalt de amplitude (figuur 24).

FIG. 23 Een regelmatig patroon van bergen en dalen.

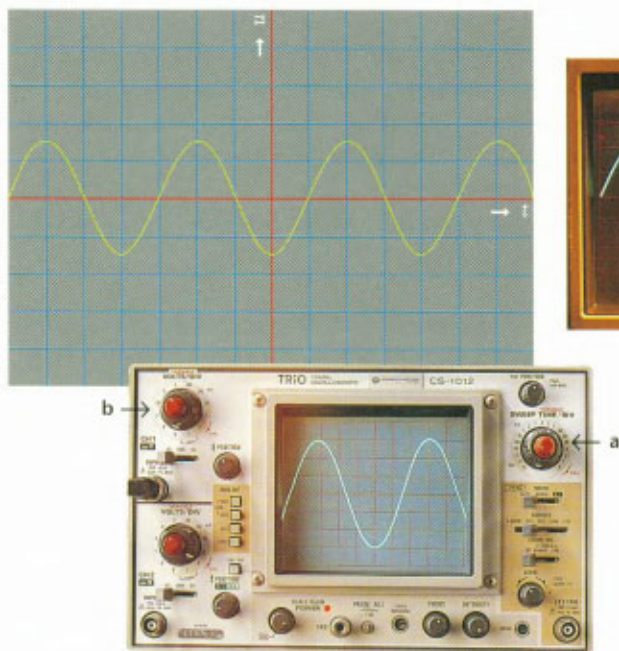


FIG. 24 Een oscilloscoop met 'tijd per hokje'-knop (a) en 'uitwijking per hokje'-knop (b).

Trillingstijd bepalen uit een (u,t) -diagram

Op het beeldscherm van de oscilloscoop wordt *één volledige trilling* weergegeven door één berg en één dal. Daarna begint een nieuwe trilling. De tijdsduur van één trilling - *de trillingstijd* - is af te lezen op de horizontale as. Elk hokje op het scherm komt overeen met een bepaalde tijdsduur. Die staat aangegeven bij de 'tijd per hokje'-knop.

Je berekent de trillingstijd door die tijdsduur te vermenigvuldigen met het aantal hokjes dat hoort bij één volledige trilling (figuur 25).

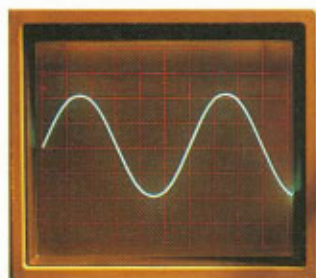


FIG. 25 Een (u,t) -diagram op het scherm van een oscilloscoop.



TIJD PER HOKJE = TIME PER DIVISION

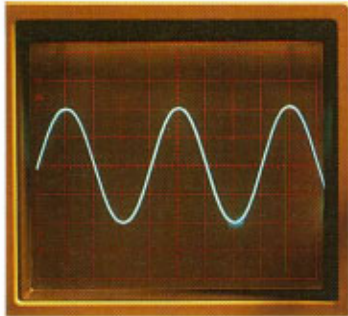
De tijd per hokje wordt in het Engels time per division genoemd.



HET AFLEZEN VAN DE TRILLINGSTIJD

De afstand berg-berg en dal-dal is even groot als een berg en een dal samen. De trillingstijd kan dus op verschillende manieren afgelezen worden, zie ook figuur 25.

FIG. 26 Bepaling van de trillingstijd uit een oscilloscoopbeeld.



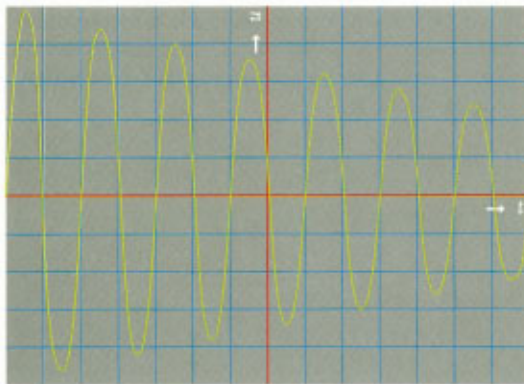
VOORBEELD: In figuur 26 zie je het (u,t) -diagram van een trilling op het scherm van een oscilloscoop. Eén trilling beslaat 4 hokjes. De oscilloscoop is zo ingesteld dat 1 hokje overeenkomt met 0,005 s (tijd/hokje = 0,005). De trillingstijd is dus $4 \times 0,005 \text{ s} = 0,020 \text{ s}$. Uit de trillingstijd kun je de frequentie berekenen met de formule:

$$f = 1 : 0,02 = 50 \text{ Hz}$$

Gedempte trillingen

In de praktijk wordt het geluid van een stemvork na verloop van tijd steeds zwakker. Dat is te zien aan het (u,t) -diagram. De amplitude (= maximale uitwijking) wordt steeds kleiner. We noemen dit een *gedempte trilling* (figuur 27).

FIG. 27 Het (u,t) -diagram van een gedempte trilling.



- 1 In figuur 28 zie je het oscilloscoopbeeld van een enkelvoudige toon. Eén hokje komt overeen met 0,005 s.
 - a Bepaal de trillingstijd.
 - b Bereken de frequentie.
- 2 In figuur 29 zie je de oscilloscoopbeelden van twee enkelvoudige tonen. De tijd per hokje is voor beide beelden hetzelfde.

Beredeneer welke toon de hoogste frequentie heeft.
- 3 Op een oscilloscoop wordt het geluid van een stemvork en van een blokfluit zichtbaar gemaakt.
 - a Welke overeenkomst zullen beide oscilloscoopbeelden vertonen?
 - b Welke verschillen zullen beide oscilloscoopbeelden vertonen?
- 4 Met behulp van een oscilloscoop maak je (u,t) -diagrammen van het geluid van twee bronnen a en b (figuur 30). In beide gevallen staat de oscilloscoop hetzelfde ingesteld. Ook de afstand van de geluidsbronnen tot de microfoon is gelijk.
 - a Welke van de bronnen brengt de hoogste toon voort? Licht je antwoord toe.
 - b Welke bron heeft de grootste geluidssterkte? Licht je antwoord toe.
- 5 In de tabel van figuur 31 is voor een aantal tijdstippen de uitwijking gegeven van een trillende stemvork. De tijd is gegeven in ms (milliseconde)
 - a Maak met behulp van de tabel een (u,t) -diagram van de trillende stemvork.
 - b Bepaal de amplitude van de trilling.
 - c Bepaal de trillingstijd.
 - d Bepaal de frequentie.

FIG. 28 Het (u,t) -diagram van een enkelvoudige toon. → De tijd per hokje is 0,005 s.

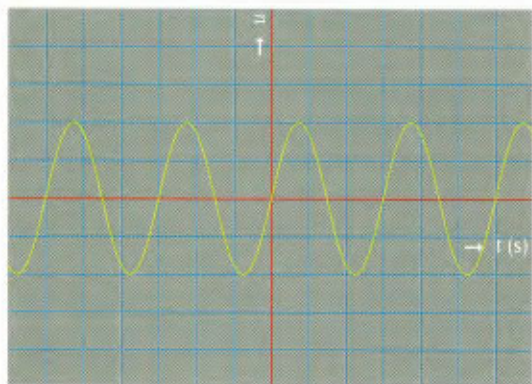
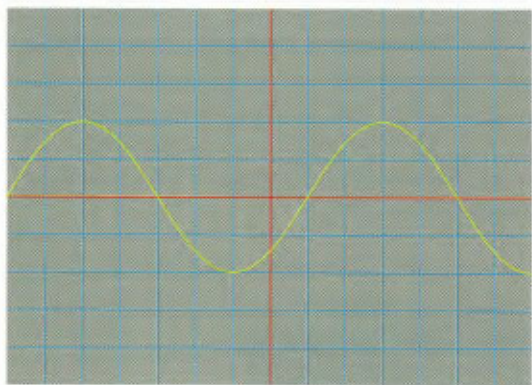
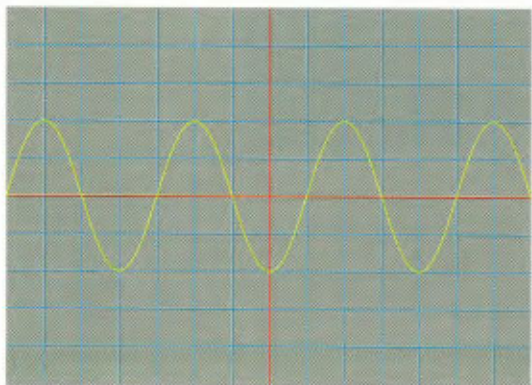


FIG. 29 Oscilloscoopbeelden van de tonen sol (grafiek a) en la (grafiek b).

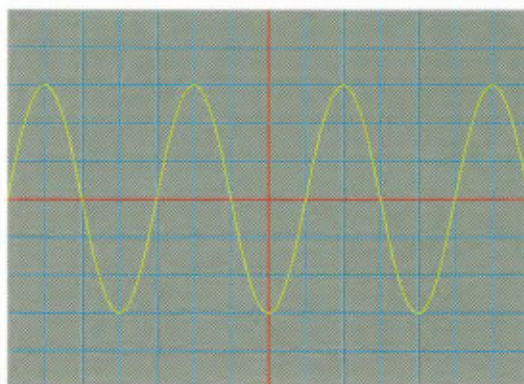


grafiek a

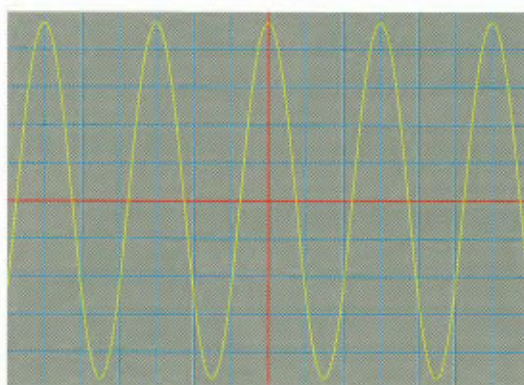


grafiek b

FIG. 30 Twee (u,t) -diagrammen van de geluidsbronnen a en b.



grafiek a



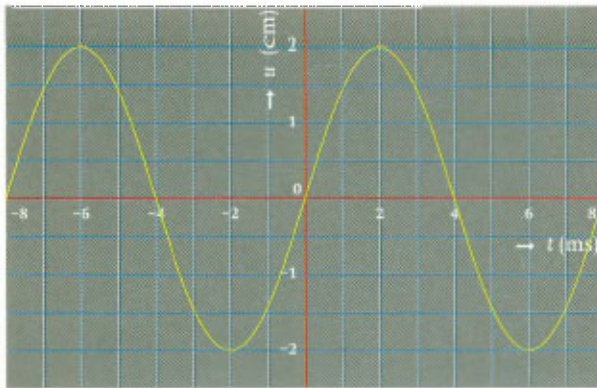
grafiek b

FIG. 31 Uitwijking van een trillende stemvork op verschillende tijdstippen.

t (ms)	u (mm)
0	0
2,8	0,7
5,7	1,0
8,5	0,7
11,3	0
14,1	-0,7
16,9	-1,0
19,7	-0,7
22,5	0

T4 Geluidshinder; wat doe je daaraan?

FIG. 32 Het (u, t) -diagram van een trilling.



- 6 In figuur 32 zie je het (u, t) -diagram van een trilling.
- Bepaal de amplitude.
 - Bepaal de trillingstijd.
 - Bereken de frequentie.
- 7 a Schets het (u, t) -diagram van een gedempte trilling.
- Waarom zie je dat de trilling gedempt is?

De beste oplossing voor geluidshinder is minder geluid maken. Het aantal hinderlijke geluidsbronnen kan drastisch beperkt worden. Dat kan met technische middelen, b.v. door apparaten en motoren te ontwikkelen en gebruiken die minder geluid maken. Of door geluidsarm asfalt ('fluisterbeton') toe te passen. We kunnen ook minder gebruik gaan maken van storende apparaten en motoren. Bijvoorbeeld door natuurgebieden te sluiten voor gemotoriseerd verkeer, zodat er 'stiltegebieden' ontstaan (figuur 33). Verkeerslawaai kan teruggedrongen worden door het instellen van *maximumsnelheden* (figuur 34). Het kan ook door *beperking van het woon-werk-verkeer*. We moeten weer dichterbij ons werk gaan wonen of thuis werken met behulp van moderne communicatiemiddelen. Op deze manier pakken we het probleem aan bij de bron. Zo'n aanpak leidt tot *duurzame ontwikkeling*, waarbij het milieu geen blijvende schade ondervindt (figuur 35).

FIG. 34 Maximumsnelheid voor minder geluidshinder.



FIG. 33 Weer een stiltegebied erbij!

Geluidssterkte

De ene geluidsbron maakt meer geluid dan de andere. Met je oren kun je dat waarnemen. Om bronnen goed met elkaar te kunnen vergelijken moet je de ‘geluidssterkte’ of het ‘geluidsniveau’ meten.

De *geluidssterkte* geeft aan hoe hard het geluid is van een geluidsbron. De geluidssterkte meet je met een decibelmeter. De *eenheid van geluidssterkte* is de *decibel (dB)*.

In figuur 36 zie je een tabel met geluidssterkten.

Geluid met een sterkte van 0 dB is voor ons net niet te horen. Geluidssterkten van 100 dB en meer doen pijn aan je oren.

Uit het diagram van figuur 37a blijkt dat onze oren niet even gevoelig zijn voor alle frequenties. Als voor de frequentie gecorrigeerd wordt, spreken we over de *geluidssterkte in dB(A)*. Een geluidssterkte van 40 dB(A) bij 100 Hz klinkt even hard als 40 dB(A) bij 1000 Hz.

Uit het audiogram van figuur 37a blijkt dat het geluid bij 100 Hz dan in werkelijkheid harder moet zijn. In figuur 37b zie je een audiogram van een gezond menselijk oor, waarin de geluidssterkte is uitgedrukt in dB(A).

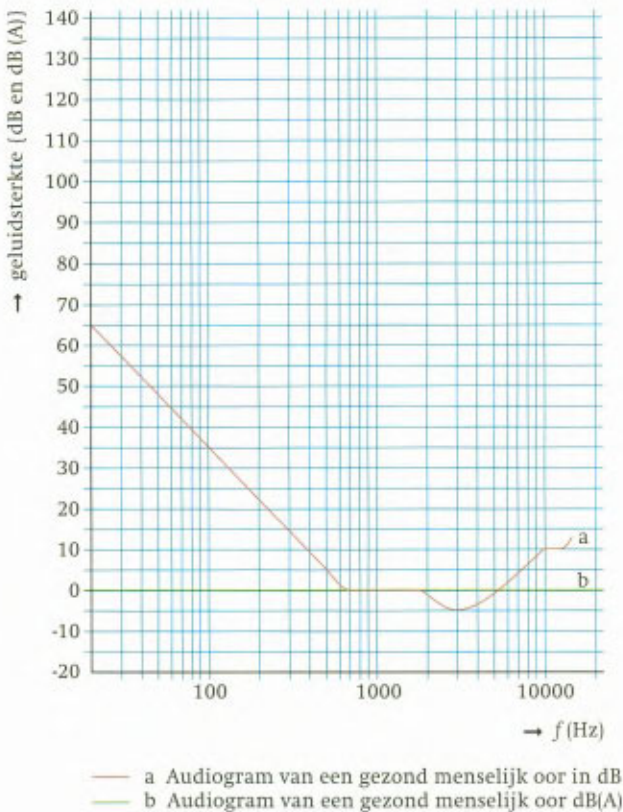
FIG. 35 De Nederlandse Stichting Geluidhinder (NSG) geeft gratis informatie en praktische tips ter voorkoming van geluidsoverlast.



FIG. 36 Geluidssterkten in verschillende situaties.

soort geluid	geluidssterkte (dB)
net (niet) te horen	0
vallend blaadje	10
iemand die zacht fluistert	20
stel fluisterende kinderen	30
autoverkeer in rustige straat	40 tot 50
druk gesprek	60
televisie die hard aanstaat	70
bromfiets	80
drukke verkeersweg	90
trein die voorbij komt	100
discotheek	110
popgroep	120
startend straalvliegtuig	130

FIG. 37



HET OPTELLEN VAN GELUIDSSTERKTEN

Geluidssterkten kun je niet zomaar optellen. Twee luidsprekerkasten van elk 80 dB leveren samen géén 160 dB. De geluidssterkte wordt dan 83 dB! Als de hoeveelheid geluid verdubbelt neemt de geluidssterkte toe met 3 dB. Een toename van 10 dB betekent dat de geluidssterkte 10 keer zo groot is. Dus 10 luidsprekerkasten van 80 dB leveren samen 90 dB. Voor ons gehoor is het dan net of het geluid twee keer zo hard is.



ALEXANDER GRAHAM BELL

De eenheid van geluidssterkte is genoemd naar de Amerikaanse natuurkundige Alexander Graham Bell (1847 - 1922). Deze onderzoeker van Schotse afkomst werkte zijn hele leven met dove mensen. Hij is beroemd geworden door de uitvinding van de telefoon (Bell Company) en de grammofoon (figuur 38).

FIG. 38 Alexander Graham Bell sprekend in een telefoon.



GELUIDSSTERKTE EN AFSTAND

Als je de geluidssterkte van een bron meet, merk je dat deze afhangt van de afstand tot de bron. De geluidssterkte neemt af naarmate de afstand tot de geluidsbron groter wordt (figuur 39). Daarom is afgesproken dat geluidssterkten gemeten moeten worden op een normale afstand van de geluidsbron. Zo moet je het geluid in een straat vanaf de stoep meten. De geluidssterkte van een bromfiets meet je op 1 m van de uitlaat.

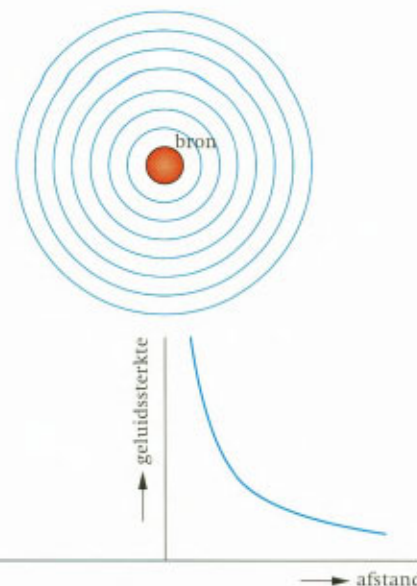


FIG. 39 Het verband tussen geluidssterkte en afstand tot de bron.

FIG. 40 Geluidsnormen.

gebied	overdag	's avonds	's nachts
woonwijk	50 dB	45 dB	35 dB
stadscentrum	60 dB	55 dB	45 dB
stiltegebied	25 dB	25 dB	25 dB

Regels en normen

De overheid heeft allerlei regels en normen opgesteld om de hinder door geluid te beperken. Een aantal van deze regels en normen is te vinden in de 'Wet op de geluidhinder'. Er zijn regels en normen voor de toelaatbare geluidssterkten in woonwijken, centra van steden, voor overdag en 's nachts, voor disco's, fabrieken en natuurgebieden (figuur 40). Rondom vliegvelden en verkeerswegen zijn gebieden aangegeven waarin niet gewerkt of gewoond mag worden (figuur 41). Er zijn ook voorschriften voor apparaten en voor gedrag. Zo mag een bromfiets niet meer lawaai maken dan 73 dB (figuur 42). Mensen die met lawaaierige apparaten werken, *moeten* oorbeschermers dragen (figuur 43).

FIG. 41 Geluidszones rondom Schiphol. De lijnen van gelijke geluidsbelasting zijn duidelijk herkenbaar. De geluidsbelasting is uitgedrukt in kosteneenheden (Ke).



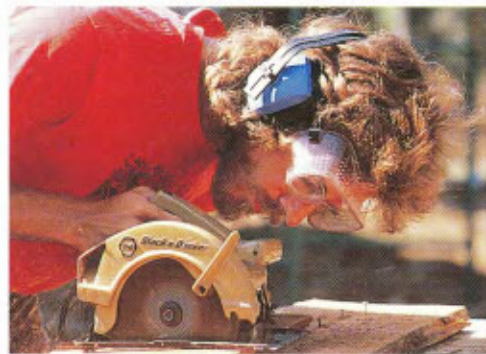
FIG. 42 De politie controleert de geluidsterkte van een bromfiets.



DE ARBO-WET

In de Arbo-wet zijn de werkomstandigheden geregeld. De Arbo-wet moet ongezonde en onveilige situaties voorkomen. Er is ook in opgenomen dat werknemers in lawaaierige situaties verplicht zijn om oorbeschermers te dragen (gratis verstrekt door de werkgever).

FIG. 43 In een lawaaierige omgeving is het dragen van oorbeschermers verplicht.



Geluiddemping

Een andere manier om geluidshinder te beperken is het gebruik van geluiddempende materialen. Deze materialen worden aangebracht tussen de geluidsbron en de geluidsontvanger. Soms gebeurt dat vlak bij de bron, soms vlak bij de ontvanger of ergens daar tussenin.

Geluiddempende materialen absorberen geluid; ze nemen geluidsenergie op. De demping van het geluid hangt af van het soort materiaal (figuur 44) en van de dikte van de geluiddempende laag. Goede geluidabsorberende materialen zijn stoffen die veel lucht bevatten. De absorptie van het geluid neemt toe als de laag geluiddempend materiaal dikker is.

In woningen, fabrieken en kantoren treedt vaak geluidshinder op. Meestal wordt het geluid dan niet overgebracht door de lucht maar door muren, vloeren en plafonds. Je hebt het dan over *contactgeluid*. De bouwwereld heeft daarom onderzoek gedaan naar materialen die geluid goed dempen (zie figuur 44). Bij de bouw van woningen, fabrieken en kantoren worden deze materialen gebruikt om geluidsoverlast te voorkomen.

In huizen naast een drukke verkeersweg worden gipsplaten of spaanplaten tegen de muren aangebracht. Deze platen moeten dan wel enkele centimeters dik zijn. Dubbel glas met lucht ertussen, dempt geluid beter dan enkel glas.

Bij de absorptie van geluid blijkt dat hoge tonen sterker worden gedempt dan lage tonen. Wanneer bij de burens de radio hard aanstaat, hoor je vooral de lage tonen. De tussenliggende muur dempt de hoge tonen veel beter dan de lage tonen.

FIG. 44 Geluiddempingskwaliteit van diverse materialen.

materiaal	kwaliteit
spaanplaat	redelijk
piepschuim	redelijk
gips	redelijk
beton	slecht
zachtboard	redelijk
zachtboard met gaatjes	goed
steenwol	redelijk

FIG. 45 Geluidsscherm.



Geluidsschermen

Langs drukke verkeerswegen in de buurt van woonwijken zie je steeds meer geluidsschermen verschijnen. Er zijn geluidsschermen in allerlei soorten. Tegenwoordig probeert men de schermen in te passen in het landschap. Helaas ontbreekt daar veelal de ruimte voor (figuur 45).

De werking van geluidsschermen kan verschillend zijn. Hoge aarden wallen, al dan niet beplant, absorberen geluid. Betonnen of glazen schermen kaatsen het geluid meestal alleen terug. In alle gevallen heeft de achterliggende woonwijk minder last van het auto-lawaai.

Werken met geluid

Een geluidstechnicus kan een ruimte zó inrichten dat het geluid in de ruimte voldoet aan van tevoren gestelde eisen (figuur 46). Hij is op de hoogte van materiaaleigenschappen en weet de materialen zó toe te passen dat de akoestiek (de geluidseigenschappen) van de ruimte zo goed mogelijk is.

FIG. 46 Een geluidstechnicus in een geluidsstudio.



- 1 **a** Waarom zijn maatregelen die geluidshinder beperken bij de bron beter dan bij de ontvanger?
b Noem twee maatregelen die bij de bron getroffen kunnen worden en twee maatregelen bij de ontvanger.
- 2 In de buurt van Schiphol hebben veel mensen last van geluidshinder.
a Noem vier maatregelen die de geluidshinder kunnen beperken.
b Geef bij iedere oplossing aan of deze oplossing leidt tot duurzame ontwikkeling of niet.
- 3 Wat is het verschil tussen de geluidssterkte in dB en de geluidssterkte in dB(A)?
- 4 **a** Waarom is de toelaatbare geluidssterkte in een woonwijk overdag hoger dan 's nachts?
b Waarom is die norm in een stadscentrum hoger dan in een buitenwijk? De bewoners in het centrum hebben er toch evenveel hinder van?
- 5 De wettelijk maximaal toegestane geluidssterkte van een bromfiets is 73 dB.
a Waarom zegt dit op zichzelf niets?
b Bedenk enkele omstandigheden waaronder die 73 dB gemeten moeten worden.
- 6 Op welke manieren kan een geluidsscherm de geluidsoverlast beperken?
- 7 Noem drie beroepen waarvoor veel kennis van geluid nodig is.

Niet elk geluid klinkt ons als muziek in de oren. Het geluid dat een luidspreker van de trillingen van een toongenerator maakt klinkt niet echt mooi. En ook het geluid van de schoolbel klinkt meestal niet prettig. Dit komt doordat het geluid van deze bronnen (meestal) uit één toon bestaat. De tonen van een muziekinstrument zijn opgebouwd uit een aantal verschillende tonen. Meestal vinden wij zo'n samengestelde trilling mooier klinken dan de enkelvoudige toon van de trillingen van een toongenerator.



BOVENTONEN EN KLANKKLEUR (TIMBRE)

De A-snaar op een gitaar brengt een toon voort van 440 Hz. We noemen dat de *grondtoon* van die snaar. Tegelijk met die grondtoon ontstaan ook tonen met frequenties die veelvoudig zijn van 440 Hz: 880 Hz, 1320 Hz, enz. Dit zijn de *boventonen*.

Zo ontstaan dus trillingen samengesteld uit verschillende frequenties. De manier waarop de grondtoon en de boventonen door de klankkast (of elektronica) worden versterkt, bepalen de *klankkleur* of het *timbre*.

Een akkoord op een gitaar (gespeeld op verschillende snaren) klinkt vaak weer mooier dan het geluid van één snaar. Muziek bestaat over het algemeen uit verschillende tonen van verschillende frequenties en sterkten.

Muziekinstrumenten

Er zijn drie soorten muziekinstrumenten: snaar-, blaas- en slaginstrumenten (figuur 47).

Bij *snaarinstrumenten* ontstaat het geluid doordat een of verschillende snaren in trilling worden gebracht. Dit kan gebeuren door tokkelen (gitaar, harp, mandoline), aanslaan met een hamertje (piano, cembalo) of aanstrijken met een strijkstok (viool, cello, bas). De laatste instrumenten worden daarom ook wel *strijkinstrumenten* genoemd.

FIG. 47 De verschillende soorten muziekinstrumenten.



Het geluid bij *blaasinstrumenten* ontstaat door met kracht lucht te blazen door een mondstuk van metaal, hout of riet. Voorbeelden hiervan zijn de trompet, trombone en dwarsfluit (metalen mondstuk), blokfluit (houten mondstuk) en klarinet, saxofoon, fagot en hobo (rieten mondstuk).

Bij *slaginstrumenten* wordt lucht in trilling gebracht door op een strak gespannen vel of op het instrument zelf te slaan. Voorbeelden van slaginstrumenten zijn de trommel, pauken, tamboerijn, bekken, steeldrum en triangel.

Resonantie

Het geluid van een aangeslagen stemvork is erg zwak. Door de stemvork met de voet tegen een glazen ruit of een tafelblad te houden wordt het geluid versterkt. Dat komt doordat het glas of het tafelblad dan gaat meetrillen. Daardoor wordt meer lucht in trilling gebracht.

Als de stemvork op zijn eigen klankkast geplaatst wordt, is de versterking maximaal. De afmetingen van deze klankkast passen bij de frequentie van de stemvork.

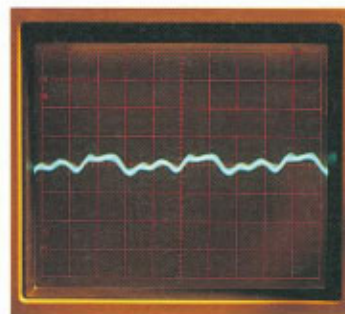
Het meetrillen met een geluidsbron noemen we *resonantie*. De werking van het oor berust op resonantie. Het trommelvlies wordt door bewegende lucht in trilling gebracht. Het trommelvlies gaat meetrillen. De gehoorbeentjes brengen deze trilling over naar de vloeistof in het 'slakkehuis'. Resonantie kan ook vervelend zijn. Soms zorgen lage tonen ervoor dat de glazen in de kast gaan meerinkelen.

Klankkleur

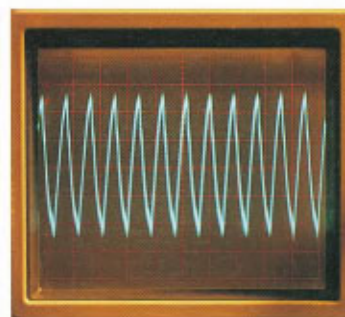
Geluiden kunnen niet alleen verschillen in toonhoogte en sterkte, maar ook in klankkleur of timbre (spreek uit: *tèmbre*). De klankkleur van een blokfluit is anders dan die van een piano, ook al wordt op beide instrumenten dezelfde noot gespeeld. Dit verschil zie je terug in het (u,t) -diagram (figuur 48).

Door het verschil in klankkleur kan ons oor verschillende instrumenten van elkaar onderscheiden. Het verschil in klankkleur is een gevolg van resonantie. De klankkleur wordt voor een groot deel bepaald door de vorm en bouw van het instrument. Door het trillen van een snaar, een rietje of een vel gaat de lucht in het instrument meetrillen met bepaalde frequenties. Die frequenties passen bij de afmetingen van het instrument. Zo bepalen de klankkast van een gitaar en het klankbord van een piano voor een belangrijk deel de klankkleur. De klankkast zorgt ook voor versterking van het geluid.

FIG. 48 Het (u,t) -diagram van dezelfde noot op een blokfluit en een piano.



blokfluit



piano



FIG. 49 Normaal instrument en basinstrument naast elkaar.

De afmetingen van akoestische bas-instrumenten (lage tonen) zijn groter dan van normale instrumenten (figuur 49). Als de klankkast van belang is voor de versterking van het geluid dan heb je het over een 'akoestisch' instrument.

Een elektrische gitaar heeft geen klankkast. De trilling van de snaren wordt door een of meer opname-elementen omgezet in een elektrisch signaal (figuur 50). Na versterking zetten luidsprekers dit signaal weer om in geluid. Bij elektrische gitaren zorgt de kwaliteit van de elementen en de elektronica voor een bijzondere klankkleur.

Het verschil in klankkleur tussen twee instrumenten van dezelfde soort (zoals violen of akoestische gitaren) wordt onder meer bepaald door de kundigheid waarmee het instrument is gebouwd. Zo klinkt een handgemaakte stradivarius veel mooier dan een fabrieksmatig gebouwde viool.

Uiteraard is de kundigheid van de speler ook van belang. Een stradivarius maakt van een amateur-violist nog geen virtuoos.

Het bouwen van muziekinstrumenten is een vak apart. Het vraagt om veel kennis en kundigheid (figuur 51).

FIG. 50 De opname-elementen bij een elektrische gitaar.

Trillende snaren

De toon van een snaar hangt af van de lengte, de dikte en de snaarspanning.

Bij een harp is er voor iedere toon een aparte snaar. De snaren voor de hoge tonen zijn korter en dunner dan de snaren voor de lage tonen (figuur 52). Bij een piano zijn er voor iedere noot een, twee of drie snaren. Dit dient om het klankvolume in de lage tonen (één snaar), middentonen (twee snaren) en hoge tonen (drie snaren) gelijk te houden.

Op een gitaar zitten zes even lange snaren van verschillende diktes. De dikke snaren zijn voor de lage tonen; de dunne snaren voor de hoge. Op deze zes snaren moeten alle noten gespeeld worden. Dat gebeurt door met de vingers de snaren af te klemmen. Zo wordt een kleiner stuk van de snaar in trilling gebracht en ontstaat een hogere toon.

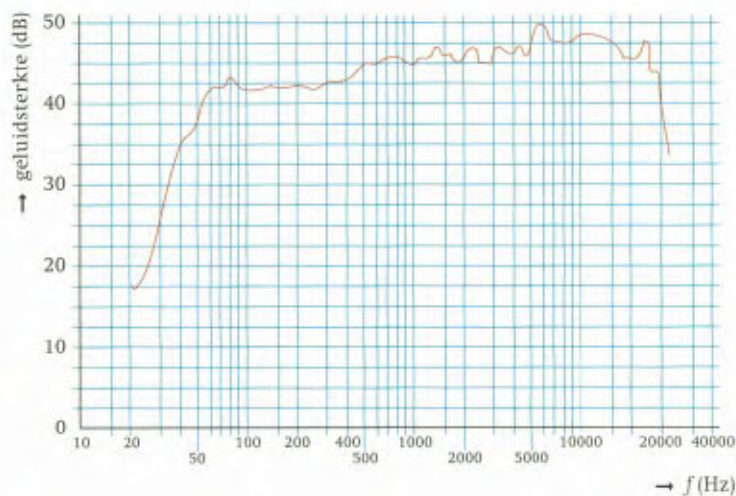
FIG. 51 Een vioolbouwer aan het werk.



FIG. 52 De snaren op een harp.



FIG. 54 De frequentiekarakteristiek van een luidsprekerkast.

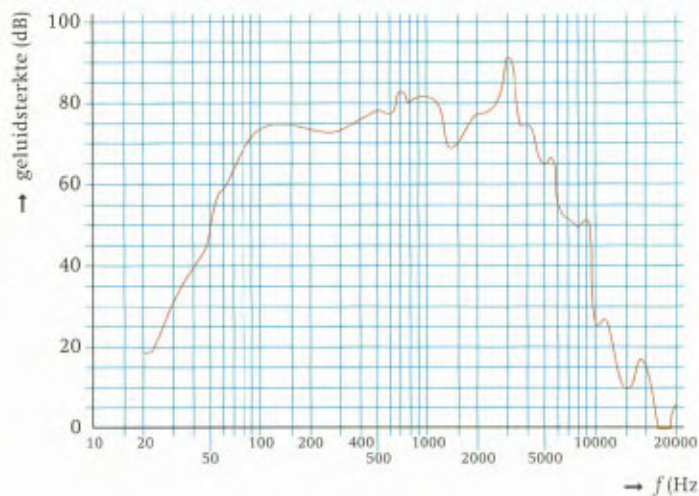


Snaarinstrumenten worden na verloop van tijd vals. De snaren worden slapper waardoor de toonhoogte daalt. Door de snaar aan te draaien wordt de snaarspanning verhoogd. Zo kun je de snaar weer op de juiste toonhoogte stemmen. Door de spanning van de snaar te verhogen, stijgt de toonhoogte.

Luidsprekerkasten

Het geluid van een luidsprekerkast wordt mede bepaald door de vorm en het volume van de kast waarin de luidsprekers zijn gemonteerd. Als het goed is, zal de kast weinig meetrillen. Toch bepaalt de resonantie van de lucht in de kast de klankkleur van de luidsprekerkast.

FIG. 53 De frequentiekarakteristiek van een middentonen-luidspreker.



De meeste luidsprekers zijn slechts voor een bepaald frequentiegebied geschikt. Een middentonen-luidspreker geeft bij lagere en hogere frequenties minder geluid (figuur 53). Een hogetonen-luidspreker (tweeter) gaat zelfs kapot als hij belast wordt met lage tonen.

Je kunt de kwaliteit van een luidsprekerkast controleren door een *frequentie karakteristiek* op te nemen. Dit is een diagram, waarin de geluidssterkte (in dB) is uitgezet tegen de frequentie (in Hz). Het diagram wordt als volgt opgenomen:

Aan een luidsprekerkast wordt een toon van constante sterkte toegevoerd die oploopt van 20 tot 20 000 Hz. Met een microfoon of dB-meter wordt vastgelegd bij welke frequenties de luidsprekerkast minder geluid produceert (figuur 54).

De frequentie karakteristiek zegt iets over de kwaliteit van een luidsprekerkast. Bij een goede luidsprekerkast worden alle frequenties even sterk weergegeven. De grafiek loopt dan over een groot frequentiegebied horizontaal.

Op dezelfde manier kan de frequentie karakteristiek van een losse luidspreker bepaald worden.



EEN STEREO-INSTALLATIE GOED AANSLUITEN

Bij het aansluiten van een stereo-installatie moet je er op letten dat de luidsprekers 'in fase' worden aangesloten. Dat betekent dat de luidsprekerconussen gelijktijdig naar voren en naar achteren moeten bewegen. Op die manier versterken de luidsprekers elkaar.

- 1 **a** Welke vier (!) soorten muziekinstrumenten ken je?
b Wat bedoelen we met een akoestisch instrument?
c Hoe kun je aan de afmetingen zien welke tonen een akoestisch instrument voortbrengt?
- 2 **a** Wat wordt bedoeld met resonantie?
b Wat hebben resonantie en klankkleur met elkaar te maken?
- 3 In figuur 55 zie je drie verschillende snaarinstrumenten.
a Hoe zie je aan de lengte van de snaren welk instrument de laagste tonen produceert?
b Welk instrument zal de dunste snaren hebben?

FIG. 55 Drie verschillende snaarinstrumenten.

a Moderne viool. Omstreeks 1550 werd de eerste viool vervaardigd.

b De violoncel, ook wel cello genaamd, werd in de 16de eeuw ontwikkeld.

c Contrabas. Heeft een lengte van ongeveer 1,80 meter.



FIG. 57 De frequentiekarakteristiek van een luidsprekerkast.

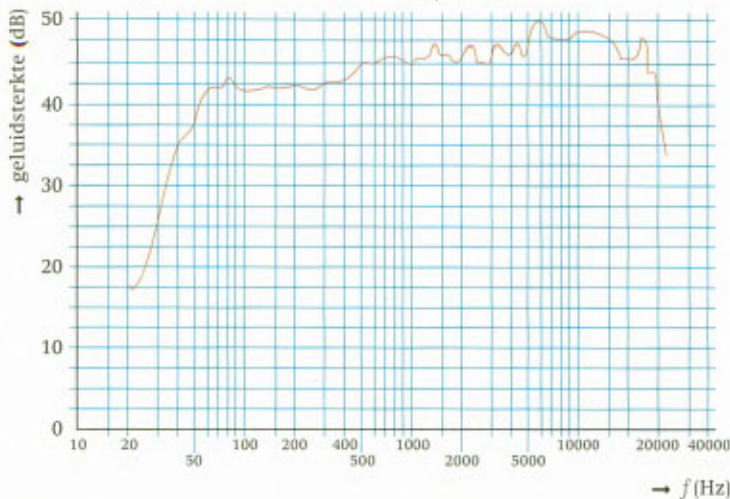


FIG. 58 De frequentiekarakteristiek van een bepaalde soort luidspreker.

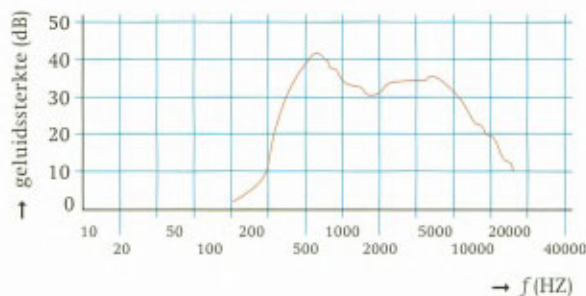


FIG. 56 De beroemde operazangeres Resonanzia Catastrofia.

- 4 **a** Op welke twee manieren kun je uit een snaar een hogere toon halen?
- b** Op welke manier worden snaarinstrumenten gestemd?
- 5 Waarin verschilt de toon van muziekinstrumenten van die van de trillingen van een toongenerator?

- 6 Denk je dat het mogelijk is om een glas kapot te 'zingen'? Licht je antwoord toe. Gebruik hierbij het woord resonantie (figuur 56).
- 7 Resonantie komt niet alleen bij geluid voor. Geef zelf een aantal andere voorbeelden van resonantie.
- 8 Leg uit dat de werking van het oor op resonantie berust.
- 9 In figuur 57 zie je de frequentiekarakteristiek van een luidsprekerkast afgebeeld.
 - a** In welke frequentiegebieden is de geluidsstrekte minder?
 - b** Wat kun je zeggen over de bovengrens van het frequentiebereik?
- 10 In figuur 58 zie je de frequentiekarakteristiek van een losse luidspreker afgebeeld. Is dit een lagetonen-luidspreker, een middentonen-luidspreker of een hogetonen-luidspreker? Licht je antwoord toe.

H1 Geluid maken en horen

In deze herhaalstof ga je na hoe geluid ontstaat, hoe geluid beweegt en hoe je geluid kunt horen. Je bekijkt ook hoe je met behulp van geluid afstanden kunt bepalen.

Geluidsbronnen

Veel dingen om je heen maken geluid. Alles wat geluid maakt noemen we een '*geluidsbron*'. Hoe geluid ontstaat, is goed te bekijken bij een luidspreker. De conus van de luidspreker gaat heen en weer. Dat is bij normaal geluid niet te zien (figuur 59). Je sluit de luidspreker aan op een toongenerator. Als je een heel lage toon instelt, kun je de conus zien bewegen. Die lage toon kun je niet horen. De beweging van de conus brengt de lucht voor (en achter) de luidspreker in trilling. Bij geluid dat je kunt horen, trilt de lucht sneller. Bij alle trillende voorwerpen die geluid voortbrengen, gebeurt hetzelfde. De lucht wordt in trilling gebracht.

Trillende lucht ervaar je via je oren als geluid. De trillende lucht brengt je trommelvlies in trilling. Deze trilling wordt via de gehoorbeentjes doorgegeven aan de vloeistof in het slakkehuis. In het slakkehuis zitten sensoren die de trilling omzetten in elektrische signalen. Deze signalen worden doorgegeven aan je hersenen. Je hoort geluid (zie figuur 7).

Ook in een microfoon zit een soort trommelvlies. Het is een plaatje dat door de trillende lucht in beweging wordt gebracht. De beweging van dit plaatje wordt omgezet in een elektrisch signaal.

- 1 Hoe ontstaat geluid?
- 2 Welke beweging is de oorzaak van geluiden bij de volgende bronnen:
 - a een stilstaande auto met draaiende motor;
 - b een radio; c een gitaar; d een bel?



FIG. 59 Een trillende conus veroorzaakt trillende lucht.

- 3 a Wat is de overeenkomst tussen een oor en een microfoon?
- b Wat is het verschil tussen een oor en een microfoon?

Voortplanting van geluid

Er is een stof of 'medium' nodig om trillingen over te brengen. Geluid plant zich goed voort in lucht en in een aantal andere stoffen. Als er heel ver weg een trein nadert kun je het geluid van de trein via de lucht nog niet horen. Met je oor op de rails hoor je de trein wel aankomen. Het geluid van de aankomende trein beweegt door de rails. Het staal van de rails is het medium waardoor het geluid zich voortplant.

FIG. 60 Geluidssnelheden in verschillende stoffen.

soort stof	stof	geluidssnelheid (km/s)
gas	helium	0,965
	koolstofdioxide	0,259
	lucht (0 °C)	0,332
	lucht (20 °C)	0,343
vloeistof	alcohol	1,17
	olie	1,5
	water (0 °C)	1,40
	water (20 °C)	1,48
	zeewater	1,51
vaste stof	been (massief)	3,0
	been (poreus)	2,6
	beton	4,3
	glas	4,0
	ijs	3,28
	kurk	0,5
	rubber	0,05
	staal	5,1

De snelheid waarmee geluid beweegt, is niet voor elke stof hetzelfde. De snelheid van geluid in lucht van $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ is 332 m/s . In de tabel van figuur 60 is de geluidssnelheid in een aantal stoffen gegeven.

- 4 Hoe komt het geluid van de geluidsbron bij de ontvanger?
- 5 Tijdens een onweer is de tijd tussen het zien van de lichtflits en het horen van de donder 12 s . De tijd die het licht erover doet om je te bereiken, mag je verwaarlozen. Je kunt nu de afstand tot het onweer berekenen.
 - a Bepaal de geluidssnelheid met figuur 60 ($T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$).
 - b Bereken de afstand tot het onweer.
- 6 In de verte zie je een heiblok op een paal terecht komen. De tijd tussen het moment dat je het heiblok op de paal ziet neerkomen en het moment dat je de klap hoort, is $3,0\text{ s}$. Bereken je afstand tot de heimachine.
- 7 Om de geluidssnelheid in water te bepalen doet men de volgende proef. Op een bepaalde plaats in zee brengt men een hoeveelheid dynamiet tot ontploffing. Op $3,7\text{ km}$ daarvandaan vangt men onder water de geluidsgolven op. De tijd tussen het moment van de ontploffing en het moment dat de geluidsgolven waargenomen worden, bedraagt $2,5\text{ s}$.
 - a Bereken de geluidssnelheid in water.
 - b Bepaal de temperatuur van het zeewater (gebruik figuur 60).
 - c Hoe lang duurt het voordat het geluid van de ontploffing via de lucht bij de waarnemer is? (gebruik figuur 60)

Geluid kan door voorwerpen of obstakels worden teruggekaatst. Als je iets in een diepe put roept, hoor je even later het teruggekaatste geluid. Dat is de *echo* van je eigen stem.

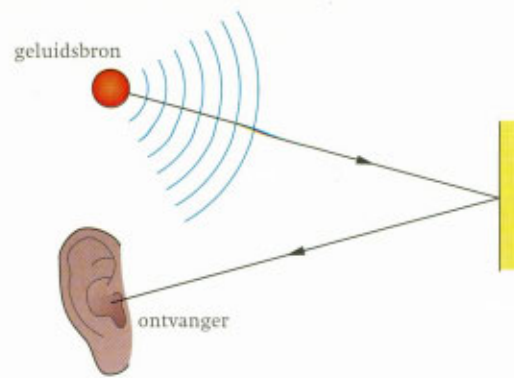


FIG. 61 Bij een echo legt het geluid twee keer de afstand af.

Van dit verschijnsel kun je gebruik maken om afstanden te meten: Het geluid van een geluidsbron wordt door een voorwerp teruggekaatst naar de plaats waar bron én ontvanger zich bevinden. De weg die het geluid aflegt, is twee keer de afstand tot het voorwerp (figuur 61).

- 8 Een put is gevuld met water. Men wil bepalen op welke diepte het wateroppervlak zit.
 - a Beschrijf hoe je met geluid de diepte kunt bepalen.
Bij een meting vindt men een tijdsduur van $0,5\text{ s}$ tussen het uitzenden van het geluid vanaf de rand van de put tot het ontvangen van de echo.
 - b Bereken hoe diep het water staat.
- 9 Een groot flatgebouw staat op een afstand van 510 meter . Bereken hoe lang je op de echo van je stem moet wachten.
- 10 Op een schip worden op hetzelfde moment twee geluidssignalen gegeven. Het ene signaal plant zich door lucht voort en het andere door water. Beide signalen worden opgevangen op een schip dat op $2,5\text{ km}$ afstand ligt. Het signaal dat zich door het water voortplant blijkt $5,8\text{ s}$ eerder bij het andere schip te zijn dan het signaal dat zich door de lucht voortplant. Als de geluidssnelheid in lucht 330 m/s is, bereken dan de geluidssnelheid in water.

H2 Geluid en trillingen

In deze herhaaltstof bekijk je een aantal belangrijke begrippen uit dit blok. Wat is een trilling en wat betekenen de begrippen amplitude, trillingstijd en frequentie? Wat wordt bedoeld met een (u, t) -diagram?

Wat zijn trillingen?

De beweging van de slinger van een klok, de beweging van een blokje dat danst aan een veer, de beweging van een luidsprekerconus en de beweging van een aangeslagen snaar zijn bewegingen die we *trillingen* noemen. Het zijn heen en weer gaande of op en neer gaande bewegingen die zich herhalen.

De beweging van een trillende stemvork met een naald aan het uiteinde kun je vastleggen. Je moet dan de naald met constante snelheid over carbonpapier trekken. Je ziet de trilling verschijnen als een golf. Met een toongenerator en een luidspreker kun je geluid maken dat uit één toon bestaat: een *enkelvoudige toon*. Dit geluid kun je zichtbaar maken met behulp van een oscilloscoop. Het geluid moet eerst door een microfoon omgezet worden in een elektrisch signaal. Op het beeldscherm van de oscilloscoop zie je dan net zo'n beweging als bij de stemvork.

Amplitude

Geluid is op een oscilloscoop te zien als een regelmatig golvende lijn met bergen en dalen (figuur 62). De hoogte van de bergen (of de diepte van de dalen) noemen we de *amplitude*. Het symbool voor amplitude is de hoofdletter *A*.

Wanneer je de geluidssterkte vergroot worden de bergen hoger en de dalen dieper. De amplitude wordt groter. De bergen en dalen blijven wel op hun plaats.

- 1 In figuur 63 zijn in een (u, t) -diagram de uitwijkingen getekend van twee trillingen a en b.
 - a Bepaal de amplitude van beide trillingen, als de 'uitwijking per hokje' 1 cm is.
 - b Welke trilling heeft de grootste amplitude?

FIG. 62 Een enkelvoudige toon op het scherm van een oscilloscoop.

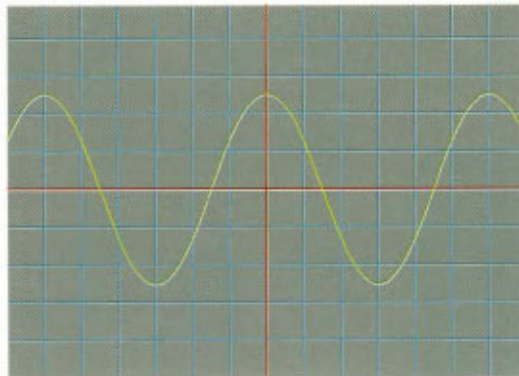
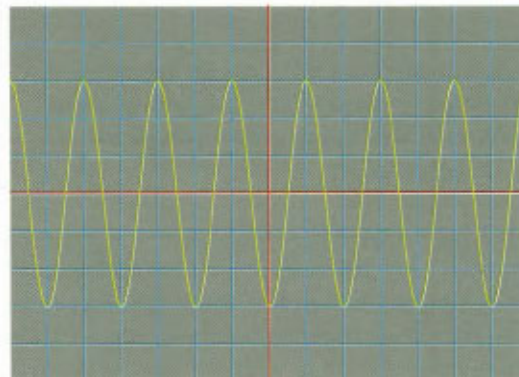
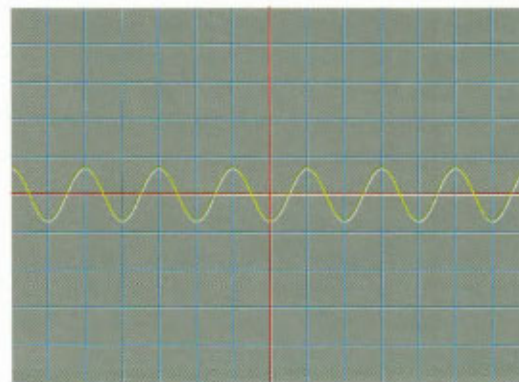


FIG. 63 Bij harde geluiden (grafiek a) is de amplitude groter dan bij zachte geluiden (grafiek b).



grafiek a

hard geluid



grafiek b

zacht geluid

t (s)	u (cm)
0	0
0,1	0,5
0,2	0,7
0,3	0,8
0,4	0,7
0,5	0,5
0,6	0

FIG. 64 De uitwijking van een trillende veer.

- 2 Van een trillende veer is in de tabel van figuur 64 de uitwijking op een aantal tijdstippen gegeven. Op $t = 0$ s is de veer in zijn evenwichtsstand. Bepaal de amplitude.

Trillingstijd

Een blokje hangt aan een veer. Je trekt het blokje iets naar beneden en laat het los. Het blokje gaat dan eerst omhoog en even later weer naar beneden. Als het blokje weer in de laagste stand is, heeft het precies *één volledige trilling* uitgevoerd (figuur 65). De tijd die het blokje daar over gedaan heeft, noemen we de *trillingstijd*. De trillingstijd geven we aan met het symbool T . Op een oscilloscoop vormen één berg en één dal samen één trilling. Bij een hogere toon zijn er op het scherm van de oscilloscoop meer trillingen te zien. De trillingstijd is dan kleiner.

Op de oscilloscoop komt elk hokje in horizontale richting overeen met een ingestelde tijdsduur. Die tijdsduur wordt meestal aangegeven als 'tijd per hokje'. Je kunt de trillingstijd als volgt berekenen. Tel het aantal hokjes van één trilling. Vermenigvuldig het aantal hokjes met de tijdsduur die bij één hokje hoort.

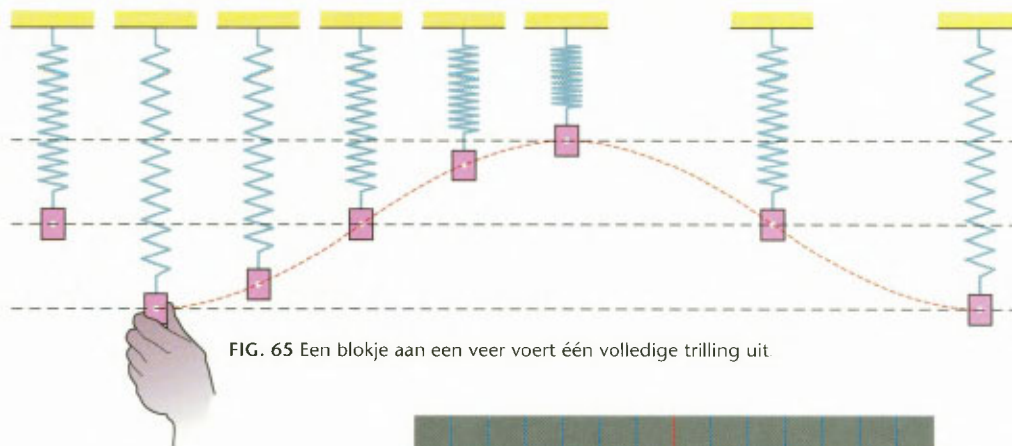


FIG. 65 Een blokje aan een veer voert één volledige trilling uit

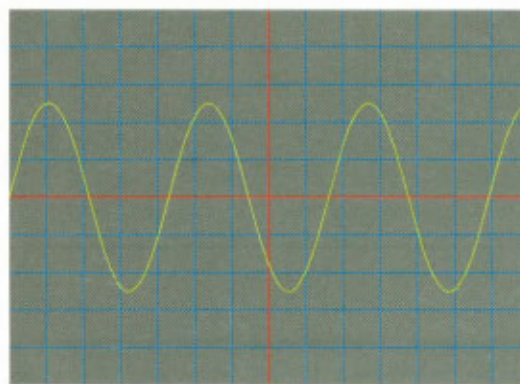


FIG. 66 Een trilling op het scherm van een oscilloscoop; de 'tijd per hokje' is 0,2 ms.

VOORBEELD: De 'tijd per hokje'-knop staat ingesteld op 0,2 ms (figuur 66). Eén trilling duurt 4,3 hokjes. De trillingstijd is dan $4,3 \times 0,2 = 0,86$ ms.

- 3 Figuur 67 toont een trilling op het scherm van een oscilloscoop. De 'tijd per hokje'-knop staat ingesteld op 5 ms (milliseconde). Bereken de trillingstijd.
- 4 Bereken de trillingstijd van de trilling (figuur 66) als de 'tijd per hokje'-knop ingesteld zou staan op 1 ms.

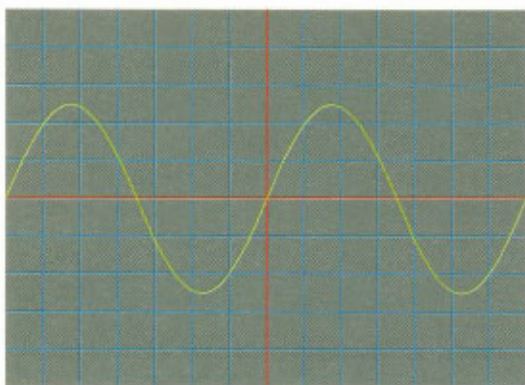


FIG. 67 Een ander oscilloscoopbeeld dan in figuur 66.

grootheid	symbool	eenheid
uitwijking	u	m (of cm)
amplitude	A	m (of cm)
trillingstijd	T	s (of ms)
frequentie	f	Hz (of kHz)

FIG. 68 Geluidssymbolen en geluidseenheden.

Frequentie

Met de frequentie wordt aangegeven hoeveel trillingen er per seconde optreden. Het symbool voor de frequentie is de letter f . De eenheid van frequentie is de hertz; afgekort Hz. Een frequentie van 1 Hz wil zeggen dat er per seconde 1 trilling optreedt.

Je kunt de frequentie berekenen als je de trillingstijd weet. Er geldt:

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

Hoge tonen hebben een hogere frequentie dan lage tonen. Bij hoge tonen hoort dus een kleinere trillingstijd. Dat kun je zien aan de conus van een luidspreker. Als je de toon verhoogt, gaat de conus sneller trillen.

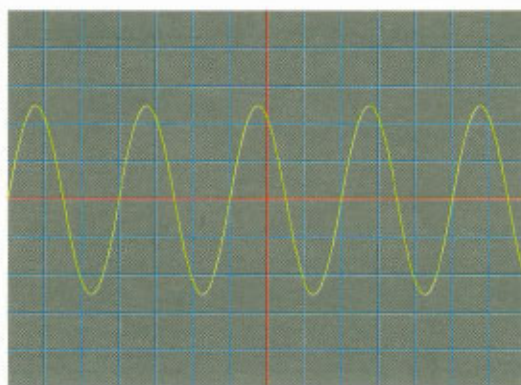


FIG. 69 Een trilling op het scherm van een oscilloscoop; de 'tijd per hokje' is 10 ms.

Samenvatting

Hoe groter de geluidssterkte, hoe groter de amplitude. Hoe groter de frequentie, hoe hoger de toon, hoe kleiner de trillingstijd.

In de tabel van figuur 68 zijn alle begrippen met bijbehorende symbolen en eenheden nog eens bij elkaar gezet.

- 5 Eén trilling van een trillende snaar duurt 0,05 s. Bereken de frequentie.
- 6 Een trillende veer voert in 3 s 12 trillingen uit. Bereken de frequentie.
- 7 De frequentie van een toon is 200 Hz.
 - a Hoe groot is het aantal trillingen per seconde?
 - b Bereken de trillingstijd.
- 8 Figuur 69 toont het scherm van een oscilloscoop. De 'tijd per hokje'-knop staat ingesteld op 10 ms.
 - a Bepaal de trillingstijd.
 - b Bereken de frequentie.

- 9 Op een oscilloscoop is een trilling te zien met een trillingstijd van 1,2 ms (figuur 70).
- Hoe staat de 'tijd per hokje'-knop ingesteld?
 - Bereken de frequentie.

Het (u, t) -diagram

De figuur op het scherm van een oscilloscoop noemt men een uitwijking-tijddiagram; kortweg (u, t) -diagram. De figuur geeft het verband tussen de uitwijking van een trilling (of een trillend voorwerp) en de tijd. De uitwijking staat verticaal; de tijd horizontaal. Een (u, t) -diagram geeft veel informatie. Je kunt op elk tijdstip de uitwijking aflezen. Je kunt ook de amplitude en de trillingstijd bepalen en daarmee de frequentie berekenen.

In figuur 71 zie je een voorbeeld van een (u, t) -diagram. De amplitude $A = 4,0$ cm. De trillingstijd $T = 1,6$ ms.

De frequentie $f = 1 : 0,0016 = 667$ Hz.

- 10 In figuur 72 zie je het (u, t) -diagram van een trilling. De 'uitwijking per hokje'-knop staat ingesteld op 1 cm; de 'tijd per hokje'-knop op 50 ms.
- Bepaal de amplitude.
 - Bepaal de trillingstijd.
 - Bereken de frequentie.
 - Bepaal de uitwijking op $t = 400$ ms.

FIG. 70 Nog een trilling; $T = 1,2$ ms.

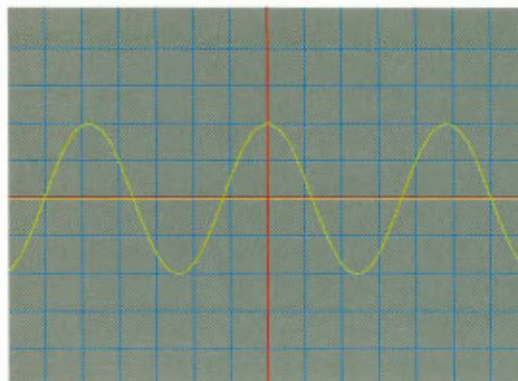


FIG. 71 Het (u, t) -diagram van een trilling.

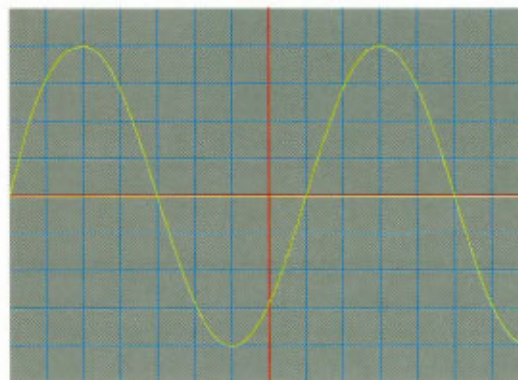


FIG. 72 Nog een (u, t) -diagram.

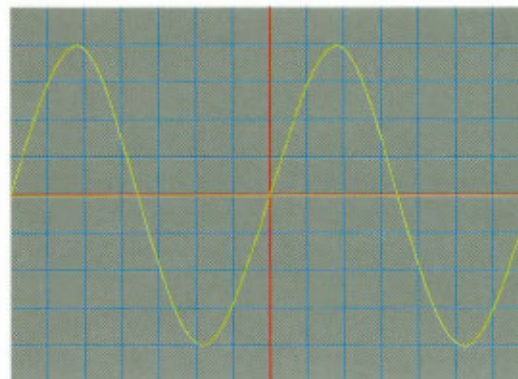
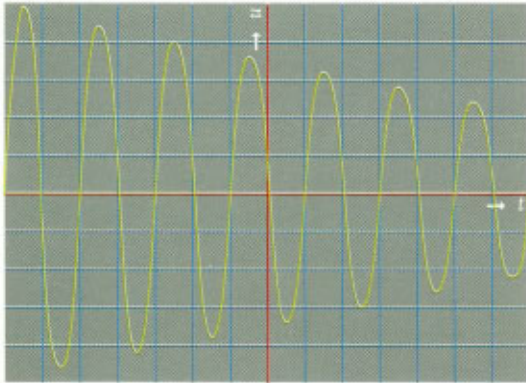


FIG. 73 Het (u, t) -diagram van een gedempte trilling.



Gedempte trillingen

De meeste trillingen zijn gedempte trillingen. Als je een snaar van een gitaar aanslaat, zal de toon langzaam wegsterven. Een slingerend blokje zal uiteindelijk stil komen te hangen.

Bij gedempte trillingen wordt de amplitude (de maximale uitwijking) steeds kleiner. Dat is te zien aan het (u, t) -diagram van een gedempte trilling (figuur 73).

11 In figuur 73 zie je het (u, t) -diagram van een gedempte trilling. De 'tijd per hokje'-knop staat ingesteld op 10 ms en de 'uitwijking per hokje'-knop op 0,5 cm.

- a** Hoe verandert de trillingstijd van een gedempte trilling?
- b** Bepaal uit het (u, t) -diagram de trillingstijd.
- c** Bereken de frequentie.
- d** Waarom zijn de meeste trillingen gedempte trillingen?

Deze herhaalstof gaat over de begrippen klankkleur en resonantie. Ook komen de frequentiekenarakteristiek en het frequentiebereik aan de orde.

Klankkleur (timbre)

Elk muziekinstrument is te herkennen aan zijn eigen klank. Daardoor kun jij een piano onderscheiden van een gitaar, ook al wordt op beide instrumenten dezelfde noot gespeeld. We zeggen dat elk instrument zijn eigen *klankkleur* heeft.

De (u, t) -diagrammen van dezelfde toon, gespeeld op verschillende instrumenten, zien er op de oscilloscoop niet hetzelfde uit. Het blijkt dat muziekinstrumenten niet één enkelvoudige toon voortbrengen met één frequentie. Er ontstaan verschillende tonen met verschillende frequenties tegelijk. Omdat dit voor ieder instrument anders is, verschilt de klankkleur per instrument.

Resonantie

Een trillende stemvork zonder klankkast is nauwelijks te horen. De stemvork op zijn eigen klankkast klinkt veel harder. Blijkbaar versterkt de klankkast het geluid. Dat komt doordat de lucht in de klankkast mee gaat trillen.

We spreken van resonantie als andere voorwerpen of stoffen gaan meetrillen. Het geluid van de trilling wordt zo versterkt. Resonantie treedt alleen op als de frequentie van de aangeboden trilling (geluid) past bij de afmetingen en de vorm van het voorwerp.

Bij muziekinstrumenten bepalen de afmetingen en vorm van de klankkast voor welke frequenties er resonantie optreedt.

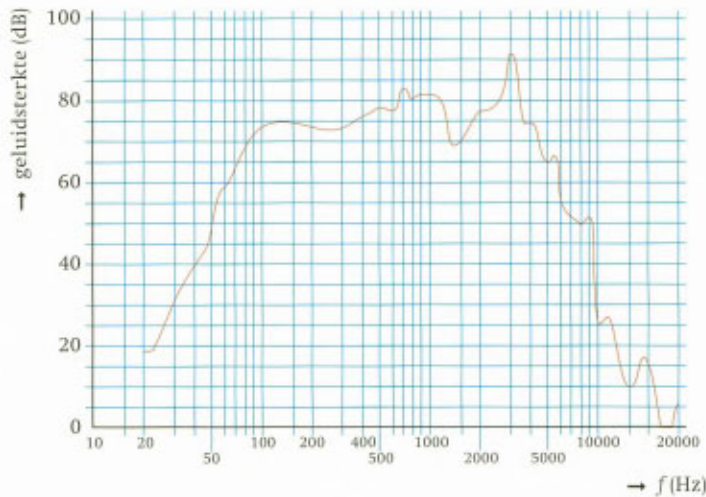
- 1** Een snaar, gespannen over een sigarenkistje, klinkt anders dan een snaar op een gitaar. Geef hiervoor een verklaring.

- 2 Het trillen van een asbakje in een rijdende auto berust op resonantie. Leg dit uit.
- 3 Welk verband bestaat er tussen resonantie en klankkleur?

Frequentie karakteristiek

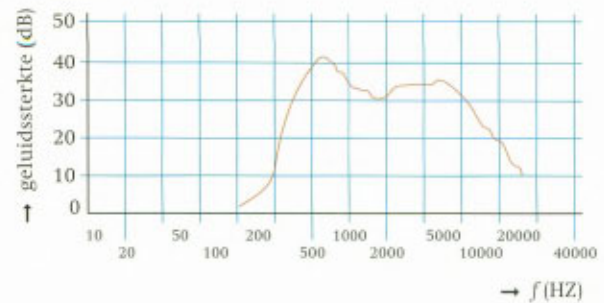
De frequentie karakteristiek is een diagram waarin het verband te zien is tussen de frequentie en de geluidssterkte (figuur 74).

FIG. 74 De frequentie karakteristiek van een middentonenluidspreker met de frequentie horizontaal en de geluidssterkte verticaal. Let op de bijzondere schaalverdeling langs de horizontale as.



De frequentie karakteristiek van een luidsprekerkast geeft informatie over de kwaliteit van de kast. Van een luidsprekerkast eisen we dat de muziek natuurgetrouw wordt weergegeven. Dat betekent dat de geluidssterkte niet mag afhangen van de frequentie. Maar een luidspreker geeft niet alle frequenties even goed weer. Het frequentiegebied waarbinnen een luidspreker geluid goed weergeeft, noemen we het *frequentiebereik*. Om het frequentiebereik van een luidspreker te bepalen, zal een geluidstechnicus een frequentie karakteristiek opnemen (figuur 75). Dat gaat als volgt:

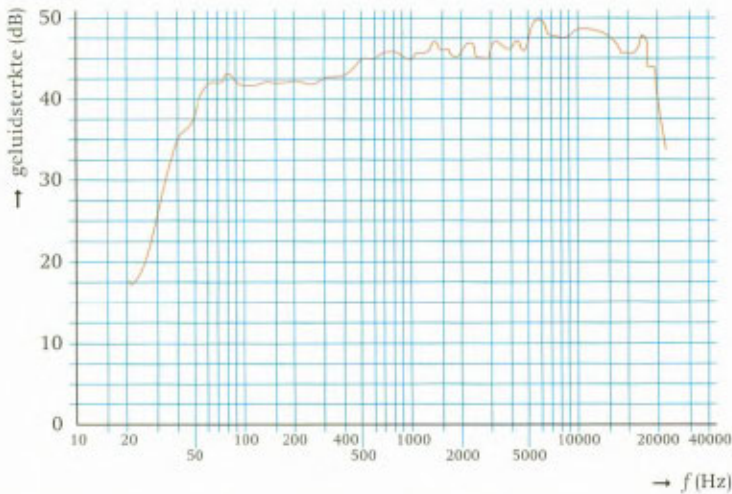
FIG. 75 De frequentie karakteristiek van een andere middentonenluidspreker.



Aan de luidspreker worden tonen toegevoerd van dezelfde sterkte, in frequentie oplopend van 20 Hz tot 20 000 Hz. Tegelijkertijd wordt de geluidssterkte gemeten die de luidspreker afgeeft. Aan de frequentie karakteristiek van de luidspreker kun je zien in welk frequentiegebied de luidspreker het beste werkt. Op dezelfde wijze kan de frequentie karakteristiek van een complete luidsprekerkast worden opgenomen (figuur 76). Om een goede weergave-kwaliteit te bereiken voeren we luidsprekerkasten uit met verschillende luidsprekers. De frequentiebereiken van de luidsprekers moeten elkaar dan overlappen. Als de luidsprekers in de kast goed op elkaar zijn afgestemd, zal de frequentie karakteristiek in een groot frequentiegebied min of meer horizontaal lopen.

- 4 Geef met je eigen woorden weer wat een frequentie karakteristiek is.
- 5 Hoe kun je aan de frequentie karakteristiek in figuur 74 zien dat je te maken hebt met een middentonenluidspreker?
- 6 Waarom zijn tonen beneden 20 Hz en boven 20 000 Hz niet van belang voor de frequentie karakteristiek van een luidsprekerkast?

FIG. 76 De frequentiecarakteristiek van een luidsprekerkast.



- 7 De frequentiecarakteristiek van figuur 76 vertoont op sommige plaatsen een duidelijke uitwijking naar beneden.

a Leg uit wat dat betekent.

b Geef hiervoor een verklaring.

Frequentiebereik

Met het frequentiebereik van een luidspreker bedoelen we de frequenties die goed worden weergegeven. Ook bij het gehoor en bij een microfoon kun je spreken over het frequentiebereik. We bedoelen dan de frequenties die goed worden gehoord of weergegeven. Van het gehoor en van een microfoon kun je eveneens een frequentiecarakteristiek opnemen. Bij het gehoor noemen we dit een *audiogram*. Zo'n audiogram geeft het verband tussen de frequentie en de geluidssterkte die nog net (niet) gehoord wordt. Aan een audiogram is te zien of iemand een gehoorbeschadiging heeft. Ook is te zien dat bij oudere mensen de gevoeligheid voor hoge tonen afneemt (figuur 77).

- 8 Hoe is aan het audiogram (figuur 77) te zien dat bij oudere mensen de gevoeligheid voor hoge frequenties afneemt?

FIG. 77 Drie audiogrammen.

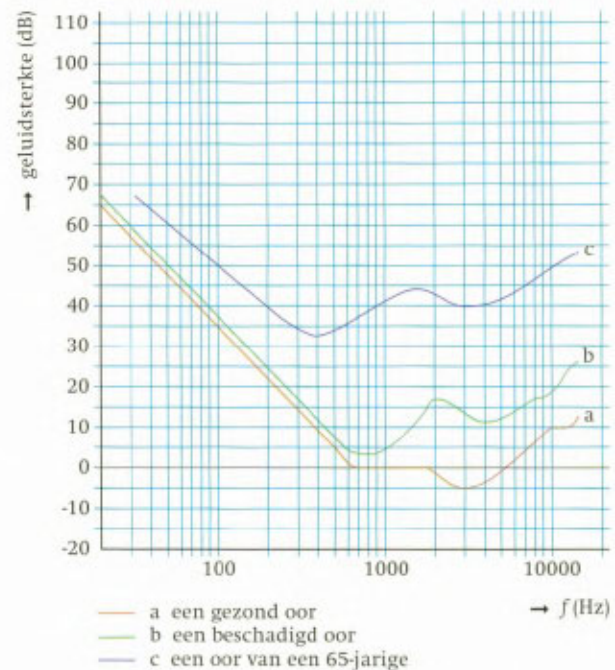
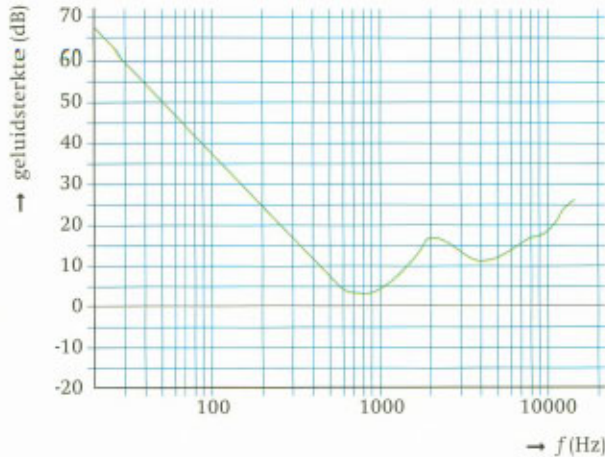


FIG. 78 Het audiogram van Sibbel.



- 9 Sibbel speelt in een popgroep. In figuur 78 zie je zijn audiogram, dat is opgenomen door een audio-loog.
- Welke frequenties hoort Sibbel niet goed?
 - Hoe zou dat komen?

Mens en milieu

Natuur en milieu zijn erg belangrijk voor ons. Onze gezondheid en veiligheid hangen er van af. Maar de natuur is niet alleen van belang voor ons; de natuur is al waardevol op zichzelf (figuur 79). Daarom zouden we zo moeten leven dat natuur en milieu geen schade van ons ondervinden. Helaas is dat niet het geval. Sterker: natuur en milieu worden steeds meer belast, met als gevolg gezondheidsproblemen voor mens en dier. De natuur wordt steeds verder teruggedrongen. Plant- en diersoorten verdwijnen.

- Noem drie voorbeelden waaruit blijkt dat de natuur belangrijk is voor onze gezondheid en veiligheid.
- Waarom is de natuur op zichzelf al waardevol?
- Op welke drie manieren zorgt geluid voor milieu-problemen?

Milieu problemen

Er komen steeds meer mensen. Die mensen doen daar-door steeds meer dingen die slecht zijn voor natuur en milieu. Het milieu lijdt daaronder. Zo erg zelfs dat natuur en milieu zich niet voldoende kunnen herstel-len. Natuur en milieu worden steeds ongezonder (figuur 80). En dat heeft gevolgen voor onze eigen gezondheid en die van onze kinderen en klein-kinderen.

Het is in ons eigen belang dat we de schade aan natuur en milieu beperken. We zouden zo moeten leven dat onze kinderen en kleinkinderen op dezelfde manier kunnen leven als wij. Dan is er sprake van een *duurzame ontwikkeling*.



FIG. 79 Waar vind je nog 'wild' in Nederland?

Er zijn allerlei mogelijkheden om milieuproblemen aan te pakken. De beste oplossingen zijn maatregelen bij de bron van het probleem. Zulke oplossingen leveren de beste bijdrage aan een duurzame ontwikkeling.

- 4 Noem drie redenen waarom geluid voor steeds meer milieuproblemen zorgt.
- 5 Wat wordt bedoeld met 'duurzame ontwikkeling'?
- 6 **a** Noem vijf maatregelen om geluidshinder te beperken.
b Welke maatregelen leveren een bijdrage aan duurzame ontwikkeling?

Kiezen voor het milieu

Als je een milieuprobleem wilt oplossen, moet je eerst onderzoek doen. Je moet het probleem in kaart brengen. Je moet gegevens verzamelen, metingen doen en (onderzoeks)gegevens verwerken. Tenslotte moet je conclusies trekken en rapporteren.

Er moet een voorstel op tafel komen om het probleem aan te pakken. Het moet duidelijk zijn welke afwegingen er gemaakt zijn en hoe het belang van het milieu daarbij een rol heeft gespeeld (figuur 81).

FIG. 81 Protest tegen de Betuwelijn.



FIG. 80 Geluidshinder.

Het lijkt logisch dat na zo'n keuzeproces iedereen zich aan de afspraken houdt. In de praktijk blijkt dat niet altijd zo te werken.

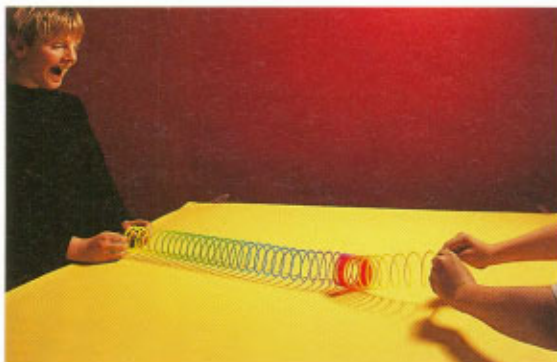
- 7 Het bewonerscomité van de Noordstraat klaagt over geluidsoverlast van de nabijgelegen snelweg (zie figuur 80).
Hoe zou jij met je kennis van geluid deze bewoners kunnen helpen?
- 8 Het geluid van een walkman die meer dan 3 uur per dag in je oor speelt, leidt tot blijvende gehoorbeschadiging.
Leg uit waarom jij toch meer dan drie uur per dag naar je walkman luistert, of juist niet. Geef aan welke argumenten daarbij een rol spelen.

Deze extrastof gaat over het ontstaan en het zich voortplanten van geluid. Ook de begrippen 'geluids-druk' en 'geluidsintensiteit' worden uitgelegd. Tenslotte bestudeer je het *doppler-effect*. Dit verschijnsel treedt op als een bewegende geluidsbron je passeert. Denk aan het geluid van een passerende ziekenauto, waarvan de toonhoogte opeens verandert.

Geluid; wat trilt er eigenlijk?

Je weet dat bewegende voorwerpen geluid maken. Bij lage tonen zie je de conus van de luidspreker bewegen. Het effect van de conus op de lucht kun je nabootsen met een *slinky-veer*.

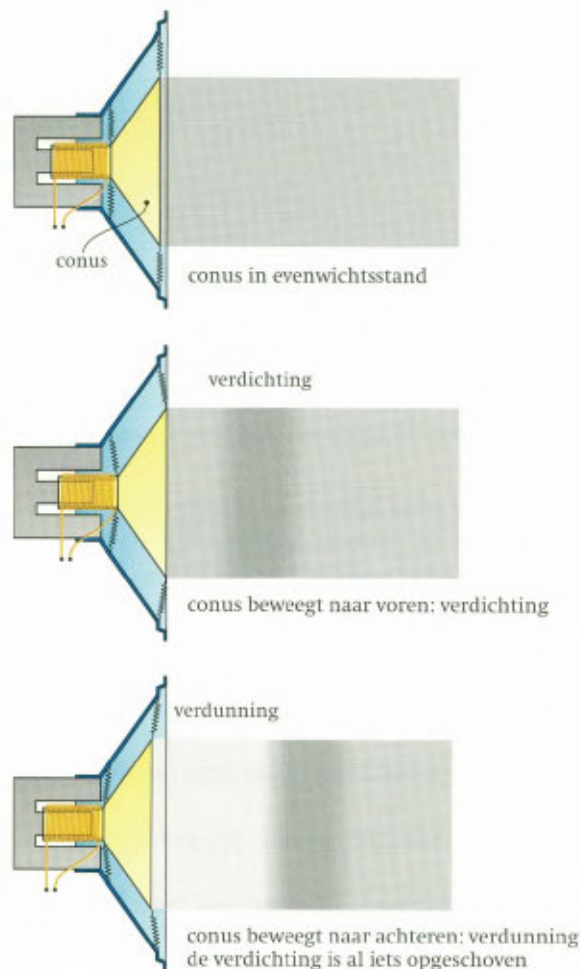
FIG. 82 Een lopende golf in een slinky-veer.



Leg de veer licht gespannen op de grond. Neem een paar windingen aan het eind samen en laat ze los. Je ziet dan dat het pakketje windingen dichtbij-elkaar als het ware *door* de veer loopt (figuur 82). Dit verschijnsel noemen we een *lopende golf*.

Iets dergelijks gebeurt met de omringende lucht bij trillende voorwerpen. Voor de conus van een luidspreker zit lucht (figuur 83). Beweegt de conus naar voren, dan wordt de lucht samengedrukt. Er ontstaat een 'verdichting' van lucht. Deze verdichting verspreidt zich in alle richtingen, als het oppervlak van een bol die steeds groter wordt.

FIG. 83 Eenvoudige voorstelling van de verplaatsing van lucht door de conus van een luidspreker.



Als de conus naar achteren beweegt, wordt de lucht uit elkaar getrokken. Zo ontstaat een 'verdunning' van lucht. Ook deze verdunning plant zich naar alle kanten even snel voort.

Het aantal (verdichtingen plus verdunningen) dat per seconde ontstaat is gelijk aan de *frequentie* van de trilling van de luidsprekerconus (figuur 84).

FIG. 84 Regelmatig opeenvolgende verdichtingen en verdunningen in de lucht.



FIG. 85 Het doppler-effect is genoemd naar de Oostenrijkse wis- en natuurkundige Christian Johann Doppler (1803-1853).

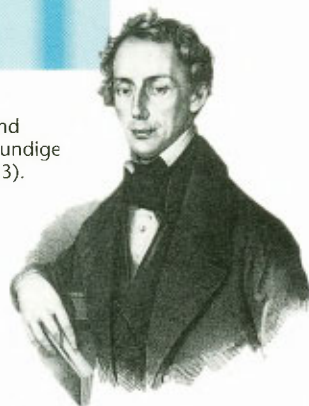
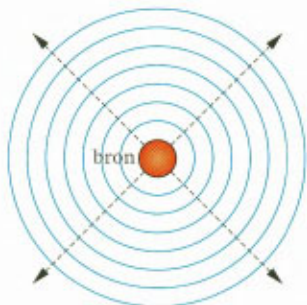


FIG. 86 Geluid plant zich in alle richtingen even snel (bolvormig) voort.

Eén volledige trilling van de conus veroorzaakt één verdichting plus één verdunning. Bij een toon met een frequentie van 50 Hz zullen er iedere seconde 50 verdichtingen en 50 verdunningen worden gevormd. Als het geluid ons oor bereikt, zullen de verdichtingen en verdunningen in de lucht ons trommelvlies in beweging brengen. Bij een toon van 50 Hz beweegt het trommelvlies 50 keer per seconde naar achteren (verdichting) en naar voren (verdunning).

Het doppler-effect

Je staat langs de kant van de weg en er komt een snelle motor voorbij. Bij het passeren hoor je dan de toonhoogte van de motor plotseling dalen. Iets soortgelijks hoor je bij ziekenauto's en politieauto's met loeiende sirene.

Als een geluidsbron je nadert, hoor je een hogere toon dan er wordt uitgezonden. Als de bron zich verwijdt, hoor je een lagere toon dan er wordt uitgezonden. Dit verschijnsel heet het *doppler-effect* (figuur 85).

Hoe is het doppler-effect te verklaren?

Vanuit een stilstaande bron zullen de verdichtingen en verdunningen zich bolvormig voortplanten (figuur 86). In de figuren 86, 87 en 88 zijn de verdichtingen gemakshalve als cirkels weergegeven. De cirkels breiden zich uit met de snelheid van het geluid. In figuur 87 is verdichting 1 het eerst uitgezonden en heeft de grootste afstand afgelegd. De verdichtingen passeren de stilstaande waarnemer W met de geluidssnelheid. W hoort evenveel trillingen per seconde als er per seconde zijn uitgezonden. De waargenomen frequentie is dus gelijk aan de uitgezonden frequentie. Beweegt de bron B ten opzichte van W (figuur 88), dan zijn de opeenvolgende verdichtingen op verschillende plaatsen ten opzichte van W uitgezonden.

De bron beweegt naar waarnemer W_1 . De bron bevindt zich eerst in 1'; daarna in 2', enz. Cirkel 1 is de verdichting die de bron vanaf plaats 1' heeft uitgezonden.

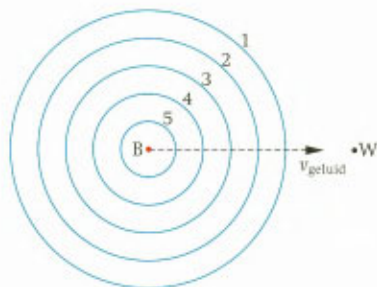


FIG. 87 Opeenvolgende verdichtingen bij stilstaande bron en waarnemer.

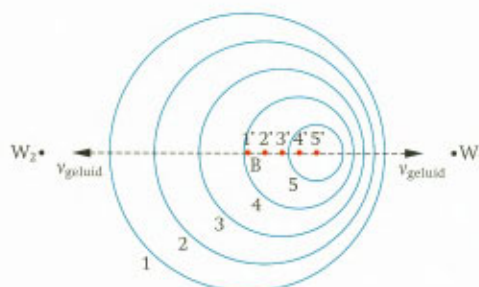


FIG. 88 Opeenvolgende verdichtingen bij een naar rechts bewegende bron ten opzichte van de twee waarnemers W_1 en W_2 .

Cirkel 2 komt uit 2', enz. Bij waarnemer W_1 volgen de verdichtingen elkaar sneller op dan ze door de bron zijn veroorzaakt. De verdichtingen liggen dichter bij elkaar dan wanneer de bron zou stilstaan (vergelijk figuur 88 met figuur 87). Het geluid dat W_1 hoort, heeft dus een hogere frequentie. W_1 hoort dus een hogere toon.

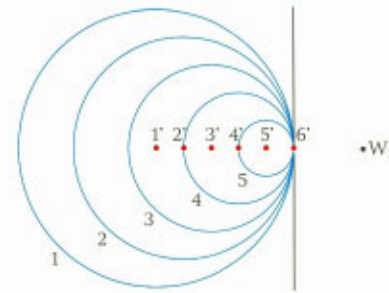
Bij waarnemer W_2 is de afstand tussen de verdichtingen juist groter. De verdichtingen volgen elkaar dus langzamer op dan ze in de bron werden veroorzaakt. W_2 hoort dus een lagere toon.

Als de bron in de richting van W_1 beweegt met de snelheid van het geluid, dan zullen bron en verdichting in dezelfde tijd dezelfde afstand afleggen (figuur 89). Verdichting 1 is uitgezonden vanaf plaats 1'. De bron heeft (in de richting van W_1) dezelfde afstand afgelegd als het geluid. De bron zit dus op de plaats van verdichting 1. Maar ook op de plaats van verdichting 2, enz. Als de bron waarnemer W_1 passeert, hoort hij het geluid dat is uitgezonden op plaats 1', 2', enz. tegelijkertijd. W_1 ervaart dit als een geweldige knal: het vliegtuig dat door de geluidsbarrière gaat.

Het doppler-effect treedt óók op als de waarnemer beweegt en de bron stilstaat. Ook dan zal de frequentie vóór het passeren hoger zijn en na het passeren lager zijn dan de frequentie die de bron uitzendt. Algemeen geldt: als de afstand tussen een geluidsbron en een waarnemer afneemt, hoort de waarnemer een hogere toon. Neemt de afstand toe, dan is de waargenomen toon lager.

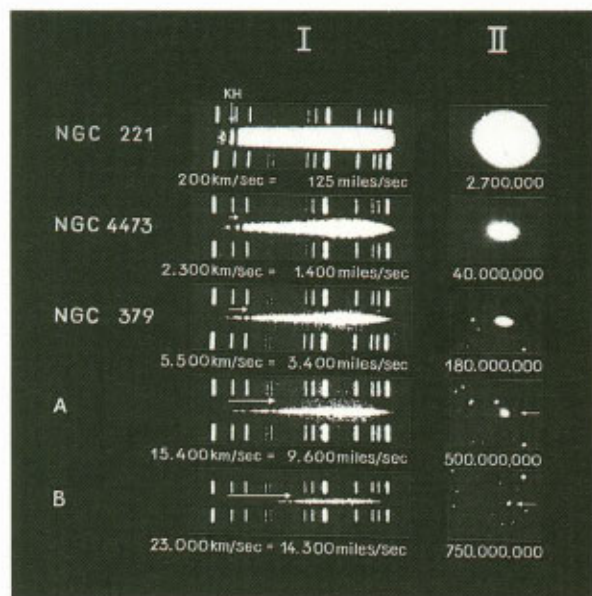
De verandering van de frequentie wordt groter als de snelheid van de bron ten opzichte van de waarnemer groter is. Als de geluidsbron de waarnemer op enige afstand passeert, verandert de toon echter geleidelijk van hoog naar laag. Dit komt doordat de snelheid van de bron ten opzichte van de waarnemer (of omgekeerd) dan óók geleidelijk verandert.

FIG. 89 De bron beweegt met de snelheid van het geluid. De bron beweegt met de verdichtingen mee en is nu in punt 6'.



- 1 Je hoort 3 seconden lang een toon van 1,0 kHz. Hoeveel verdichtingen van de lucht zijn er in jouw oor aangekomen?
- 2 Een poreuze wand van zacht materiaal dempt het geluid goed. Geef hiervoor een verklaring met behulp van verdichtingen en verdunningen in de lucht.
- 3 Verklaar waarom geluid steeds zwakker wordt naarmate de afstand toeneemt.
- 4 Een waarnemer (W_2 uit figuur 88) hoort een gelijkblijvende lagere toon als de bron zich met constante snelheid van hem verwijdt. Verklaar dit.
- 5 Wat hoort een waarnemer die zich met constante snelheid van een stilstaande bron verwijdt?
- 6 Leg uit waarom het doppler-effect nauwelijks te horen is bij een vliegtuig dat op grote hoogte overvliegt.

FIG. 90 Doppler-effect in de sterrenkunde. De spectra van verschillende sterrenstelsels en hun roodverschuiving. De snelheden waarmee de stelsels van ons af bewegen, staan er telkens onder vermeld.

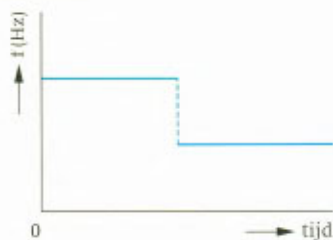


- 7 Een motorrijder rijdt langs een stilstaande waarnemer. In figuur 91 zie je de verandering van de frequentie van het geluid van de motor zoals de waarnemer die hoort.

a Bewoog de motorrijder zich dicht langs de waarnemer of passeerde hij de waarnemer op grote afstand? Licht je antwoord toe.

b Neem het diagram over en geef daarin aan wat de frequentie van de geluidsbron is die de motorrijder zelf waarneemt.

FIG. 91 De verandering van de frequentie zoals de waarnemer die hoort.



- 8 Carla staat op enige afstand van de weg waarop een motorrace wordt gehouden. Op een gegeven moment passeert er een motor met hoge snelheid.
- a** Geef in een diagram weer hoe Carla de frequentieverandering waarneemt.
- b** Geef in het diagram het tijdstip aan waarop de motor Carla passeert.
- 9 **a** Maak een tekening als figuur 89, maar nu voor een vliegtuig dat (in de richting van W_1) sneller vliegt dan het geluid.
- b** Wat hoort een waarnemer op de grond (dus op grotere afstand van de richting waarin het vliegtuig beweegt), als het vliegtuig overkomt?

E2 De luidspreker

In deze extrastof onderzoek je de werking van een luidspreker.

Luidsprekers zijn er in vele soorten en maten. Grofweg kun je een indeling maken naar het frequentiebereik. Je hebt:

- de lagetonen-luidspreker, basluidspreker of woofer;
- de middentonen-luidspreker of squaker;
- de hogetonen-luidspreker of tweeter.

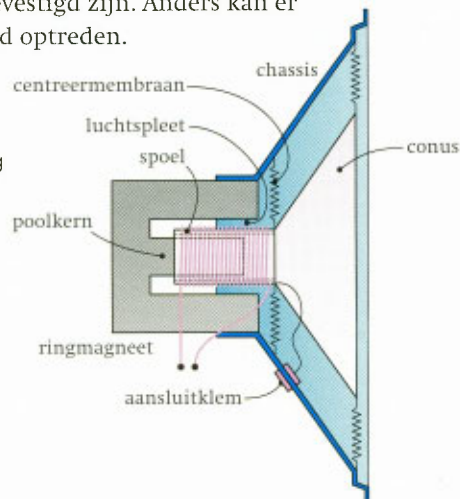
Een luidspreker bestaat meestal uit vier onderdelen:

- een conus;
- een spoel;
- een magneet;
- een chassis waaraan de onderdelen bevestigd zijn.

Bij een basluidspreker zijn deze onderdelen het beste te zien (figuur 92). Een tweeter is daarentegen zo gebouwd dat alleen het membraan (dat de lucht in trilling brengt) herkenbaar is.

Bekijk een luidspreker waarvan de conus is losgesneden. Je ziet aan de achterkant van de conus een koker. Om de koker is een spoel van koperdraad gewikkeld. De spoel zit in een dunne spleet. De kern binnen de spoel en de buitenrand zijn magnetisch. De spoel moet zeer nauwkeurig bevestigd zijn. Anders kan er vervorming van het geluid optreden.

FIG. 92 Een doorsnede-tekening van een luidspreker.



De spoel zit met twee stroomdraden vast aan het chassis. Op deze draden worden de luidsprekersnoeren aangesloten. In opdracht 1 leer je waar de spoel voor dient. De spoel is het belangrijkste en kwetsbaarste onderdeel van de luidspreker.

BENODIGD MATERIAAL:

- spoel (600 windingen)
- drukschakelaar
- gelijkstroommeter
- magneet
- slappe veer
- spanningsbron met zowel gelijk- als wisselspanning.

Maak de opstelling van figuur 93. Zorg ervoor dat de magneet vrij kan bewegen.

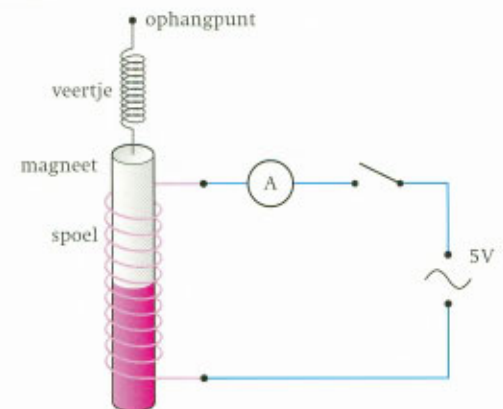
Stel de spanningsbron in op 5 V (gelijkspanning). Druk even op de schakelaar.

1 a Wat gebeurt er met de magneet? Let ook op de stroommeter.

Verwissel de plus- en de min-aansluiting op de spoel en druk op de schakelaar. Kijk goed wat er gebeurt. Let ook weer op de stroommeter

b Beschrijf wat je hebt gezien.

FIG. 93 Opstelling om de werking van een luidsprekerspoel te onderzoeken.



Een spoel wordt magnetisch als er een elektrische stroom door loopt. Het aantrekken of afstoten van de magneet hangt af van de stroomrichting in de spoel. Bij een luidspreker zit de magneet vast en beweegt de spoel in de magneet.

Als je een luidspreker aansluit op gelijkspanning, zul je geen geluid horen. De conus beweegt eenmalig naar binnen (of naar buiten). Hij gaat géén trilling uitvoeren.

Bij wisselspanning wisselt de stroom steeds van richting. Je gaat nu onderzoeken wat er met de magneet gebeurt als je wisselspanning gebruikt in plaats van gelijkspanning.

Vervang de gelijkstroommeter door een wisselstroommeter. Stel de spanningsbron in op 5 V wisselspanning.

Druk op de schakelaar. Let ook op de stroommeter.

2 a Wat zie je?

Verwissel de aansluitingen van de spanningsbron. Druk op de schakelaar en let ook weer op de stroommeter.

b Wat is er veranderd?

Druk op de schakelaar en voel aan de magneet.

c Wat voel je?

Bij gebruik van wisselspanning zal de magneet beurte-
lings zeer snel aangetrokken en afgestoten worden. Het maakt dan niet uit of je de aansluitingen op de spoel omwisselt. Het aantrekken en afstoten is haast niet te zien, maar wel te voelen. Je voelt een trilling met een frequentie van 50 Hz.

Het signaal van een versterker bestaat óók uit een wisselspanning, maar de frequentie en de amplitude daarvan veranderen steeds. Het signaal bestaat uit trillingen met verschillende frequenties. De trillingen met verschillende frequenties worden bij elkaar opgeteld. Dat signaal wordt naar de spoel van de luidspreker gestuurd.

Door de steeds veranderende stroom wordt de spoel afgestoten en aangetrokken. De met de spoel meebewegende conus brengt de lucht in trilling. Daardoor horen wij geluid.

Het optellen van trillingen met verschillende frequenties kun je zo voorstellen:

In figuur 94a zie je het (u,t) -diagram van een lage toon. In figuur 94b het (u,t) -diagram van een hoge toon. Opgeteld krijg je figuur 94c. De conus voert een trilling uit met een lage frequentie, maar tegelijkertijd ook een trilling met een hoge frequentie.

De signalen die naar de spoel gestuurd worden bij het weergeven van een concert, zijn natuurlijk nog veel ingewikkelder.

Gebruik dezelfde opstelling als bij de vorige proef.

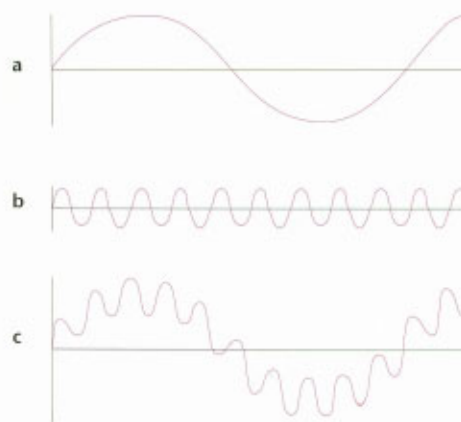
Gebruik gelijkspanning en sluit de spoel zo aan dat de magneet wordt aangetrokken. Stel de spanning in op 5 V. Druk op de schakelaar en let op de magneet.

Stel de spanningsbron nu in op een spanning van 1 V en druk op de schakelaar.

3 Welk verschil zie je?

De grootte van de spanning bepaalt de kracht waarmee de magneet wordt aangetrokken: hoe groter de spanning, hoe groter de kracht.

FIG. 94 Lage (a) en hoge (b) frequenties opgeteld (c).



Bij een geluidssignaal bepaalt de geleverde spanning hoe ver de conus naar voren of naar achteren beweegt. Hoe groter de uitslag van de conus, hoe groter de geluidsterkte. Met andere woorden: de grootte van de spanning bepaalt de amplitude van de trilling en dus de geluidsterkte. Het signaal voor de luidspreker varieert niet alleen in frequentie (hoog en laag) maar ook in spanning (hard en zacht).

In figuur 95 zie je de bouwtekening van een luidspreker.

Neem de tekening over op stevig karton. Knip de conus en de koker uit. Plak beide op de juiste manier op elkaar.

Wikkel het koperdraad op de koker.

Maak beide uiteinden van het koperdraad blank.

Sluit de spoel aan op een radio-cassettrecorder.

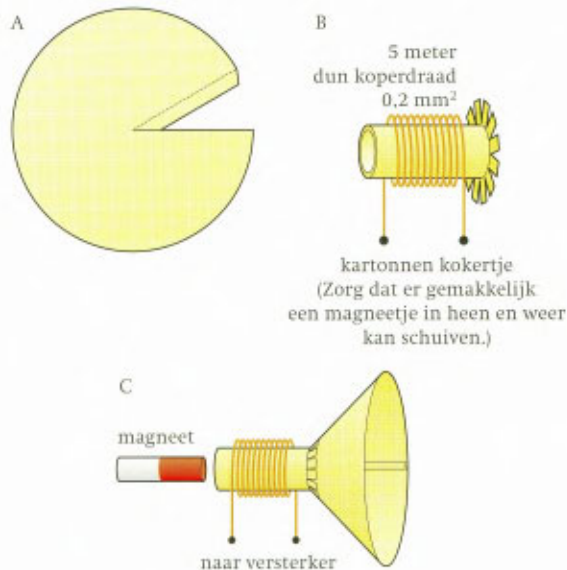
4 a Wat hoor je?

Houd een staafmagneet in de koker.

b Wat hoor je nu?

c Geef hiervoor een verklaring.

FIG. 95 Bouwtekening van een papier luidspreker.



BLOK 5 EXTRASTOF

E3 Geluid rondom je school

Je gaat een geluidskaart van de schoolomgeving maken. Daarvoor moet je op verschillende plaatsen onderzoeken:

- welke geluidsbronnen je hoort;
- hoe hard het geluid is;
- of er sprake is van geluidshinder.

Als 'meet' instrument gebruik je de geluidsliniaal (figuur 96). Zo'n geluidsliniaal laat zien welke geluidsterkte hoort bij een bepaalde geluidsbron.

FIG. 96 De geluidsliniaal.

geluidsterkte in dB(A)	geluidsbron
0	gehoordrempel
10	vallend blad
20	zacht gefluister
30	stille woonwijk 's nachts
40	stille woonwijk overdag
50	normale woonwijk overdag
60	normaal gesprek
70	autosnelweg op 25 m
80	trein op 25 m 60 km/u
90	trein op 25 m 120 km/u
100	zware vrachtwagen op 5 m
110	drilboor op 1 m
120	autoclaxon op 2 m
130	startend vliegtuig op 50 m
140	pijngrens

De omgeving van de school is verdeeld in een aantal waarnemingsgebieden. Twee leerlingen moeten het geluid in zo'n gebied in kaart brengen door goed te luisteren. Zo krijg je een indruk van de geluiden die je buiten hoort. Maar ook hoe hard die geluiden zijn en waar ze vandaan komen.

Ga als volgt te werk.

Je krijgt een plattegrond van jouw deel van de schoolomgeving.

- 1 **a** Kies in je waarnemingsgebied vier verschillende plaatsen. Kies die plaatsen ver uit elkaar. Geef ze aan op de plattegrond.
Ga achtereenvolgens naar de gekozen plaatsen en luister twee minuten zonder te praten.
- b** Vergelijk de geluiden die je hoort met de geluiden op de geluidsliniaal. Schat de geluidssterkten en geef ze aan bij de gekozen plaatsen op de plattegrond.
- c** Kijk goed om je heen. Probeer vast te stellen welke geluidsbronnen het geluid veroorzaken. Geef op de plattegrond met een cirkel de plaats van iedere geluidsbron aan.
- d** Zet in de cirkel om wat voor soort geluid het gaat. Gebruik de codes uit figuur 97.

FIG. 97 Codes voor geluid.

code	soort geluid
A1	hard (meer dan 70 dB(A))
A2	matig (tussen 40 en 70 dB(A))
A3	zacht (minder dan 40 dB(A))
B1	regelmatig
B2	plotseling
C1	licht verkeer (bromfiets, auto, lage snelheid)
C2	zwaar verkeer (auto, vrachtauto, hoge snelheid)
C3	lichte industrie
C4	zware industrie
C5	natuurlijke geluiden
C6	anders

Beantwoord voor je eigen waarnemingsgebied de volgende vragen.

- 2 Waar is het geluid het hardst? Welke geluiden hoor je daar?
- 3 Waar is het geluid het zachtst? Welke geluiden hoor je daar?
- 4 Waar is er sprake van geluidshinder?
- 5 Zijn er maatregelen getroffen om de geluidshinder te beperken?

Als iedereen terug is in de klas, plak dan de waarnemingsgebieden tegen elkaar op het bord. Vergelijk de verschillende waarnemingen met elkaar. Staat de school in een rustige omgeving of juist niet? Bespreek dit met elkaar.

Als er sprake is van geluidshinder, bedenk dan samen beperkende maatregelen. Formuleer deze maatregelen in de vorm van een aantal aanbevelingen. Maak van het hele onderzoek een verslag en bied dit aan aan het gemeentebestuur.

E4 Oefenvragen en opgaven

- 1 Wanneer lucht door de gaatjes van een snel ronddraaiende schijf wordt geblazen, ontstaat er een sirene-achtig geluid.
 - a Beschrijf hoe het geluid ontstaat.
Het toerental van een sirene wordt ingesteld op 600 omwentelingen per minuut. Er zitten 44 gaatjes langs de rand van de schijf (figuur 98).
 - b Bereken de frequentie van het sirenegeluid.
- 2 De afstand tussen twee hoge torens A en B bedraagt 11,22 km. Het waait en de wind gaat van A naar B. Het geluid heeft 33,0 s nodig om van A naar B te komen. Van B naar A duurt het 34,0 s (figuur 99).
 - a Bereken de snelheid van het geluid als het van A naar B gaat en als het van B naar A gaat.
 - b Wat is de geluidssnelheid in stilstaande lucht?
 - c Bereken de windsnelheid op die dag.

FIG. 98 Een sirene; op de rand van de schijf zitten 44 gaatjes.



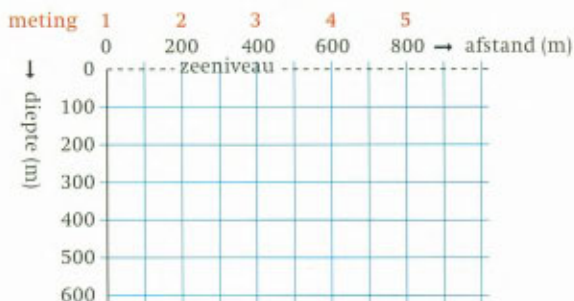
FIG. 99 Geluid van de ene toren naar de andere en terug.

- 3 Je staat op enige afstand van een bosrand, die het geluid van je stem terugkaatst. Je roept 'hallo' in de richting van de bosrand. Je hoort nog juist de echo van de laatste lettergreep 'lo'. Het uitspreken van één lettergreep duurt 0,20 s duurt.
 - a Hoe lang is de lettergreep 'lo' in totaal onderweg geweest?
 - b Bereken hoe ver je van de bosrand staat. Gebruik de tabel met geluidssnelheden van figuur 12.
- 4 Vanaf een schip wordt met behulp van sonar een deel van de zeebodem in kaart gebracht. Sonar is apparatuur waarmee ultrasoon geluid wordt uitgezonden en opgevangen na terugkaatsing. Sonar is de afkorting van 'SOund NAvigation and Ranging'. De geluidssnelheid in water is 1500 m/s. Voor een bepaald stuk zeebodem doet men om de 200 meter 5 metingen. Men meet de tijdsduur tussen het uitzenden en het ontvangen van het ultrasone signaal. De metingen staan vermeld in de tabel van figuur 100.
 - a Bereken met de gegevens uit de tabel voor de vijf metingen de afstand tot de zeebodem.
 - b Neem het diagram van figuur 101 over en schets daarin hoe dat stuk van de zeebodem eruit ziet.

FIG. 100 Gemeten waarden bij de sonarmetingen.

meting	tijd in s	afstand in m
1	0,8
2	0,6
3	0,3
4	0,5
5	0,7

FIG. 101 Diagram voor de weergave van de metingen.

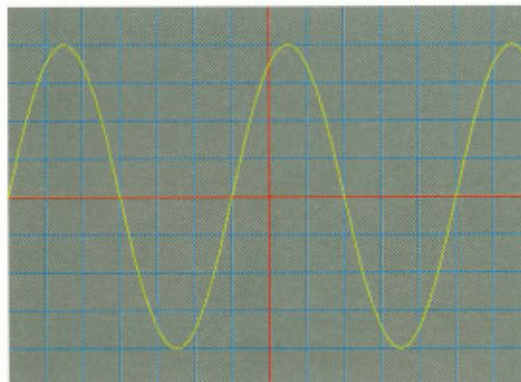


- 5 Een luidspreker zet elektrische signalen om in geluid. Op het scherm van een oscilloscoop is het elektrisch signaal te zien als een opeenvolging van bergen en dalen. Op de oscilloscoop kun je het signaal met behulp van de 'volt per hokje'-knop zo aanpassen dat de uitwijkingen goed herkenbaar zijn.

In figuur 102 zie je een oscilloscoopbeeld van zo'n elektrisch signaal. De 'tijd per hokje'-knop staat op $50 \mu\text{s}$ ($1 \mu\text{s} = 0,000\,001 \text{ s}$). De 'volt per hokje'-knop staat op 1 V.

- a** Hoe groot is de amplitude?
- b** Wat is het verschil tussen de uitwijkingen boven en beneden de 0 V?
- c** Bepaal de trillingstijd van het signaal.
- d** Bereken de frequentie.

FIG. 102 Oscilloscoopbeeld van een elektrisch signaal.



- 6 Uit een luidspreker komt op hetzelfde moment het geluid van een bas en een fluit. Toch kun je de bas en de fluit duidelijk onderscheiden. De frequenties van beide instrumenten zijn heel verschillend.
- a** Welk instrument brengt geluid voort met een lage frequentie?
 - b** Schets in een (u, t) -diagram het geluid van de bas.
 - c** Schets in hetzelfde (u, t) -diagram ook het geluid van de fluit. Laat duidelijk het verschil in frequentie zien tussen de fluit en de bas.
- De luidspreker krijgt beide signalen tegelijkertijd toegevoerd. De luidsprekerconus moet dan zowel een trilling van een lage als van een hoge frequentie voortbrengen.
- d** Bij de vragen **b** en **c** heb je de lage en hoge frequentie apart geschetst. Schets nu in hetzelfde (u, t) -diagram met een andere kleur het samengestelde geluid van de bas en de fluit.