# Module 4 – Opdrachten

In module 3 van Fysica Musica zijn een aantal experimenten beschreven. Hoewel deze proeven al een behoorlijk onderzoekende houding vereiste, stond toch steeds omschreven wat het uiteindelijke doel van een experiment was. Het was steeds bekend waar er naar toe moest worden gewerkt. In deze module gaan we een stap verder. Er worden een aantal opdrachten omschreven, die op allerlei manieren tot een goed einde kunnen worden gebracht. Je doelen bepaal je dus grotendeels zelf, in overleg met je docent. De theorie uit de modules 1 en 2 moet veelvuldig worden toegepast.
Om enige indruk te geven over de moeilijkheidsgraad en de tijdsinvestering van een bepaalde opdracht is er gewerkt met een sterrensysteem (★). Drie sterren betekent een hoge moeilijkheidsgraad en/of een grote tijdsinvestering. Slechts één ster betekent een veel lagere moeilijkheidsgraad en/of veel kleinere tijdsinvestering. Ook is aangegeven met wat voor type opdracht je te maken hebt (onderzoek, ontwerp, literatuurstudie, enz.).

| | Titel | Opdrachttype | niveau | tijd |
|---|---|---|---|---|
| 4.1. | Flesje blazen | onderzoek | ★ ★ | ★ ★ |
| 4.2. | Analyse van een muziekinstrument | onderzoek | ★ ★ | ★ ★ |
| 4.3. | Ringtones | onderzoek / ontwerp | ★ ★ | ★ ★ |
| 4.4. | Tonen uit een wijnglas | onderzoek | ★ ★ | ★ ★ ★ |
| 4.5. | Muziek (geluid) opnemen en weergeven | literatuurstudie | ★ | ★ ★ |
| 4.6. | Ontwerp een eigen muziekinstrument | ontwerp | ★ ★ | ★ ★ ★ |
| 4.7. | Theremin | ontwerp / onderzoek | ★ ★ | ★ ★ ★ |
| 4.8. | Lesmateriaal voor klas 3 | literatuurstudie | ★ | ★ |
| 4.9. | Lesmateriaal voor de basisschool | literatuurstudie | ★ | ★ |
| 4.10. | Vogelgeluiden | onderzoek | ★ ★ | ★ ★ |
| 4.11. | Vastleggen van geluid | literatuurstudie | ★ | ★ ★ |
| 4.12. | Geluiden om je heen | onderzoek | ★ ★ | ★ ★ |
| 4.13. | Geluidsafscherming langs een drukke weg | ontwerp | ★ ★ | ★ ★ ★ |
| 4.14. | Speelgoedinstrumenten | onderzoek | ★ ★ | ★ ★ ★ |
| 4.15. | Het menselijke gehoor | literatuurstudie | ★ | ★ |
| 4.16. | De menselijke stem | literatuurstudie | ★ | ★ |
| 4.17. | Gebouw als concertzaal | ontwerp | ★ ★ | ★ ★ ★ |
| 4.18. | Tone Generator | onderzoek / ontwerp | ★ ★ | ★ |
| 4.19. | Slechthorendheid | literatuurstudie | ★ | ★ ★ |
| 4.20. | Muziek en natuurkunde op YouTube | literatuurstudie | ★ | ★ |
| 4.21. | Heineken Music Hall Amsterdam | Literatuurstdie / ontwerp | ★ ★ | ★ ★ |
| 4.22. | Digitalisering van geluid | literatuurstudie | ★ ★ ★ | ★ ★ |
| 4.23. | Geluidsabsorptie | onderzoek | ★ ★ | ★ ★ ★ |
| 4.24. | Muziekstijlen | onderzoek | ★ ★ | ★ ★ |
| 4.25. | Akoestiekverbetering van de aula | ontwerp | ★ ★ | ★ ★ ★ |

## 4.1. Flesje blazen

Iedereen heeft het weleens gedaan. Over de rand van een fles blazen en luisteren naar de toon die door de fles en de lucht in de fles wordt voortgebracht.

Figuur 4.1: Als je over een fles blaast ontstaat er geluid.

Door over de fles te blazen ontstaan er wervelingen bij de opening van de fles. Onder bepaalde voorwaarden zal er in de fles een staande golf ontstaan en zal een toon hoorbaar zijn. Het is iedereen bekend dat deze toon laag is wanneer er sprake is van een grote fles, die maar weinig gevuld is of zelfs helemaal leeg is. Een kleinere, goed gevulde fles zal daarentegen een veel hogere toon te horen geven. Overigens is dit niet erg verrassend. De afmeting van de luchtkolom in de fles bepaald de toonhoogte. In deze opdracht ga je onderzoek doen aan de tonen die voortgebracht worden door een gevulde fles. Vul de fles daartoe steeds gedeeltelijk met water, blaas over de fles en meet met een computer welke toonhoogte (frequentie) er wordt voortgebracht. Ga daarbij op zoek naar het verband tussen de frequentie van de toon en de hoeveelheid water in de fles (het waterpeil).

De opdracht kan opgebouwd zien uit de volgende deelopdrachten:

- Onderzoek het verband tussen het waterpeil en de toonhoogte.
- Zoek uit hoe het kan dat er een toon door de fles wordt geproduceerd.
- Ontwerp een muziekinstrument waarin je een aantal flessen gebruikt, waarover je kunt blazen. Het instrument moet zuiver zijn, d.w.z. iedere fles brengt de frequentie voort die hoort bij een bepaalde toon uit de muziek. Speel op het instrument een eenvoudig melodietje.
- Bedenk een manier waarop het onderzoek en het ontwerp op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

## 4.2. Analyse van een muziekinstrument

In module 3 waren al aardig wat experimenten te vinden die het doel hadden onderzoek te doen aan allerlei muziekinstrumenten. De gitaar is voor zo'n onderzoek erg geschikt omdat een gitaar een instrument is, waarvan de werking eenvoudig te doorgronden is. In deze opdracht is het de bedoeling opnieuw de keuze te maken voor een muziekinstrument. Vervolgens dienen allerlei aspecten van het instrument nader onderzocht te worden.

- Kies een muziekinstrument waaraan je onderzoek gaat doen. Kies niet voor een technisch te ingewikkeld instrument, anders zijn de onderzoeksvragen erg lastig te formuleren.
- Formuleer een aantal onderzoeksvragen. Bedenk hierbij welke aspecten van het instrument je nader gaat bekijken.
- Doe allerlei metingen om tot antwoorden te komen op de onderzoeksvragen. Verwerk de metingen zoals dat gebruikelijk is en formuleer conclusies zorgvuldig.
- Presenteer het onderzoek via een schriftelijk verslag.

## 4.3. Ringtones

Tegenwoordig heeft eigenlijk iedereen wel een mobiele telefoon. Om kenbaar te maken dat iemand je wil bereiken, zijn er allerlei geluiden ontwikkeld die uit de mobiele telefoon komen als deze afgaat. Deze ringtones zijn soms heel aardig en kunnen zelfs best mooi klinken. Even vaak klinken ringtones knap irritant. Hiervoor is echter een reden. De bezitter van de mobiele telefoon moet zijn/haar

eigen telefoon goed kunnen horen als deze afgaat in een wat drukkere omgeving. De componisten van ringtones houden hier rekening mee door te kiezen voor bepaalde specifieke frequenties. Ook in bijvoorbeeld reclames wordt dit fenomeen toegepast. Men richt zich op frequenties waarvoor het menselijke gehoor het meest gevoelig is. Dit onderzoek richt zich op de volgende onderdelen:

- Kies een of een aantal ringtones, waaraan je metingen gaat doen. Let er hierbij op dat de ringtone niet te complex is. Eenvoudige ringtones laten zich het eenvoudigst analyseren.
- Doe metingen aan de ringtones. Bepaal de grondfrequenties en de boventonen. Zoek uit of er een verband te ontdekken valt.
- Trek conclusies uit de meetresultaten.
- Ontwerp ook zelf een ringtone. In de (frequenties van de) ringtone kun je de resultaten uit je onderzoek gebruiken.
- Bedenk een manier waarop het onderzoek en het ontwerp op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

## 4.4. Tonen uit een wijnglas

Figuur 4.2: Een trillend wijnglas.

In figuur 4.2 staat een erg beroemd experiment weergegeven. Een wijnglas dat in de buurt staat van een geluidsbron kan, bij de juiste frequentie en een voldoende geluidsniveau, in resonantie raken. Deze resonantie kan zo hevig worden dat het wijnglas op een gegeven ogenblik breekt. Over het algemeen gebeurt dit bij erg hoge tonen. Operazangeressen worden dan ook vaak uitgedaagd een wijnglas stuk te zingen.
Een wijnglas kan dus in resonantie raken. Zelf kun je deze toestand ook bereiken door met een iets vochtige vinger over de rand van het glas te bewegen. Bij de juiste snelheid en de juiste druk gaat het wijnglas een toon voortbrengen.
In deze opdracht wordt het resoneren van een wijnglas op de volgende punten nader onderzocht:

- Breng een wijnglas met je vinger in resonantie. Meet de ontstane toon met behulp van een computer op, pas er Fourier-analyse op toe en bestudeer het frequentiespectrum. Bepaal in ieder geval nauwkeurig de grondfrequentie.
- Vul het wijnglas gedeeltelijk met water en herhaal de meetprocedure. Probeer een verband te vinden tussen de frequentie van de toon uit het wijnglas en de hoeveelheid vloeistof in het glas.
- Beschrijf, aan de hand van de metingen, hoe een 'wijnglas-piano' eruit zou zien. In dit instrument staan er een aantal wijnglazen naast elkaar. De tonen van de glazen komen daarbij overeen met het klavier van een piano.
- Breng met behulp van een toongenerator een toon voort die overeenkomt met de grondfrequentie van een leeg wijnglas. Plaats het glas naast de luidspreker en bekijk of het glas in resonantie komt. Let wel goed op de veiligheid.
- Bedenk een manier waarop het onderzoek en het ontwerp op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

## 4.5. Muziek (geluid) opnemen en weergeven

Als sinds jaar en dag is men op zoek naar allerlei manieren om uitgevoerde muziek vast te leggen en weer af te spelen. De ontwikkeling hiervan gaat al lange

tijd terug en heeft met de digitalisering van geluid een flinke loop genomen. Het principe is echter iedere keer gelijk. Men zet geluid (trillingen) om in een elektrisch signaal om het geluid op te kunnen nemen. Vervolgens wordt dit elektrisch signaal weer omgezet in een trilling om het geluid terug te kunnen horen. Om geluid op te kunnen nemen, gebruikt men een microfoon. Om geluid weer te kunnen geven een luidspreker. In deze opdracht onderzoek je de werking van een microfoon en een luidspreker en de natuurkundige principes waarop deze twee apparaten gebaseerd zijn.

- Bestudeer de werking van een microfoon. Bekijk hiertoe de techniek van de microfoon en de natuurkundige principes waarop deze techniek gebaseerd is.
- Bestudeer de werking van een luidspreker. Bekijk hiertoe de techniek van de luidspreker en de natuurkundige principes waarop deze techniek gebaseerd is.
- Illustreer beide technieken met behulp van (demonstratie-)experimenten.
- Bedenk een manier waarop het onderzoek op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

### 4.6. Ontwerp een eigen muziekinstrument

Muziekinstrumenten zijn er in allerlei soorten en maten. Van instrumenten die enorm hoge tonen voortbrengen tot instrumenten die vooral gebruikt worden voor de lagere tonen. Instrumenten met een aanzienlijk volume tot instrumenten die nauwelijks hoorbaar zijn.

Ieder instrument is echter gebaseerd op een zelfde principe. Men brengt een snaar of een luchtkolom in trilling. Op het instrument zijn dan hulpmiddelen aangebracht om het voor de muzikant mogelijk te maken de juiste toonhoogten te spelen. Op een blokfluit zijn dit de gaatjes in de fluit. Op een saxofoon zijn deze gaten ook aanwezig en worden ze afgesloten door kleppen. Bij een trompet maakt men juist weer gebruik van ventielen. Op een gitaar heeft men frets aangebracht, waardoor de gitarist alleen de juiste toets hoeft te vinden. Een piano bestaat daarentegen uit een enorme hoeveelheid snaren, die allemaal van elkaar verschillen in zowel lengte als dikte. Op alle instrumenten kunnen echter dezelfde tonen worden gespeeld. De klankkleur is alleen iedere keer anders.

In deze opdracht ontwerp je zelf een muziekinstrument. Het muziekinstrument moet minimaal voldoen aan de volgende eisen:

- Het instrument moet een aantal tonen kunnen voortbrengen. Deze tonen moeten zuiver zijn, in die zin dat de frequentie correct moet zijn. In de loop van het ontwerpproces zullen er dus regelmatig metingen gedaan moeten worden om te bekijken of het instrument voldoet.
- Het instrument moet akoestisch zijn. Elektronica mag alleen eventueel gebruikt worden voor de versterking.
- Op het instrument moet een eenvoudig melodietje te spelen zijn. Dit mag een bestaande melodie zijn, maar ook zelf bedacht.
- Het instrument moet er aansprekend uitzien.
- Er moet kunnen worden duidelijk gemaakt op welke natuurkundige en/of technische principes het instrument gebaseerd is.
- Het is toegestaan (en zelfs gewenst) zelf nog één of een aantal extra eisen aan het ontwerp toe te voegen.
- Er dient te worden gewerkt volgens de ontwerpcyclus (opstellen programma van eisen, uitwerkingentabel, ontwerptekeningen, prototype en evaluatie).

- Bedenk een manier waarop het ontwerp op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

## 4.7. Theremin

Een van de eerste volledig elektronische instrumenten was de theremin, zie figuur 4.3. Hoewel dit muziekinstrument maar weinig wordt toegepast, spreekt het nog steeds enorm tot de verbeelding.
Een theremin bestaat uit twee antennes. De bespeler beweegt zijn/haar handen in de buurt van de antennes, waardoor de toonhoogte (met de verticale antenne) en het volume (met de horizontale antenne) gevarieerd kan worden.

Figuur 4.3: Een theremin.

In deze opdracht bouw je zelf een theremin. Deze zal besteld worden bij Opitec. Het principe van deze theremin is anders dan weergegeven in figuur 4.3. De theremin van Opitec berust op een toename en/of afname van de lichtintensiteit op een lichtsensor. De volgende onderdelen maken deel uit van deze opdracht:

- Bouw de theremin van Opitec. Werk hierbij uiterst nauwkeurig, want een klein foutje in de elektronica zal tot gevolg hebben dat de theremin niet werkt.
- Onderzoek de geluidsproductie van de theremin. Bekijk welke positie van een hand bij de theremin overeenkomt met welke frequentie. Hiertoe neem je het geluid van het apparaat op in een computer en pas je er Fourier-analyse op toe.
- Bedenk een manier waarop het onderzoek op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

## 4.8. Lesmateriaal voor klas 3

In het projectmateriaal Fysica Musica kom je allerlei aspecten tegen over akoestiek. Akoestiek is het deel van de natuurkunde dat zich bezighoudt met geluid. In de modules 1 en 2 zijn al behoorlijk wat onderwerpen aan bod gekomen. Daarbij zul je vast en zeker een aantal onderwerpen tegen zijn gekomen, die je eigenlijk best interessant vindt. Geluid hoor je immers de hele dag (en nacht) en het is aardig hier net iets meer van af te weten. Ook leerlingen uit de onderbouw denken hier zo over. Ook zij zijn verrast als ze een proef over resonantie of interferentie krijgen voorgeschoteld en ook zij herkennen de problemen van geluidsoverlast en de decibelschaal die daarvoor gebruikt kan worden.
In deze opdracht ga je lesmateriaal ontwikkelen, dat gebruikt kan worden in een willekeurige 3$^{e}$ klas (havo en vwo). Het uiteindelijke doel van deze opdracht is dan ook een boekje (of een website) waarin er een aardig volledig beeld wordt gegeven van de akoestiek. Hierbij kun je gebruik maken van de volgende deelonderwerpen van de akoestiek:

- ☐ trillingen (algemene begrippen)
- ☐ harmonische trilling
- ☐ slinger
- ☐ golven
- ☐ geluidsgolven
- ☐ interferentie
- ☐ resonantie
- ☐ staande golven in een luchtkolom
- ☐ geluidssterkte (decibel)
- ☐ dopplereffect
- ☐ zwevingen
- ☐ Fourier-analyse (geluidsspectra)
- ☐ de menselijke stem
- ☐ het menselijke gehoor

☐ staande golven in een snaar
☐ geluidsafscherming
☐ geluid opnemen en weergegeven
☐ geluid digitaliseren (CD en mp3)
☐ slechthorendheid
☐ zaalakoestiek

Aan een aantal van bovenstaande begrippen ga je literatuurstudie doen. Je zoekt informatie op over dit onderwerp en rangschikt deze. Een eerste aanzet van de informatie is te vinden in de modules 1 en 2 van Fysica Musica. Vervolgens ga je lesmateriaal schrijven voor een havo3- of vwo3- klas. Dit materiaal moet minimaal aan de volgende eisen voldoen:

- Het moet een voldoende diepgang hebben, maar moet voor een leerling uit de derde klas wel te begrijpen zijn.
- Eenvoudigere formules mogen gerust gebruikt worden en zijn zelfs gewenst. Let er daarbij wel op dat een leerling uit de derde klas nog niet zo heel erg veel ervaring heeft in het rekenen met formules.
- De tekst over een bepaald onderwerp mag niet te lang zijn. De hoeveelheid leeswerk moet dus redelijk beperkt zijn.
- Ieder onderwerp, waarbij dat mogelijk is, moet geïllustreerd worden met een experiment. Dit kan een demonstratieproef zijn, maar ook een proef die de leerlingen zelf kunnen doen.
- Bij ieder onderwerp moeten een aantal vragen, opgaven of opdrachten bedacht worden, zodat de leerlingen ook actief met de stof aan de slag kunnen.
- Ieder onderwerp moet in dezelfde stijl geschreven en opgezet zijn, zodat er ook echt een geheel ontstaat.

## 4.9. Lesmateriaal voor de basisschool

In het projectmateriaal Fysica Musica kom je allerlei aspecten tegen over akoestiek. Akoestiek is het deel van de natuurkunde dat zich bezighoudt met geluid. In de modules 1 en 2 zijn al behoorlijk wat onderwerpen aan bod gekomen. Daarbij zul je vast en zeker een aantal onderwerpen tegen zijn gekomen, die je eigenlijk best interessant vindt. Geluid hoor je immers de hele dag (en nacht) en het is aardig hier net iets meer van af te weten. Deze gedachte leeft vaak ook al bij leerlingen op de basisschool. Ook zij zijn verrast als ze een proef over resonantie of interferentie krijgen voorgeschoteld en ook zij herkennen de problemen van geluidsoverlast.

In deze opdracht ga je lesmateriaal ontwikkelen, dat gebruikt kan worden op de basisschool (groep 8). Het uiteindelijke doel van deze opdracht is dan ook een boekje (of een website) waarin er een aardig volledig beeld wordt gegeven van de akoestiek op het niveau van de basisschool. Hierbij kun je gebruik maken van de volgende deelonderwerpen van de akoestiek (van een aantal van deze onderwerpen zul je misschien moeten besluiten dat ze echt te ingewikkeld zijn):

☐ trillingen (algemene begrippen)
☐ staande golven in een luchtkolom
☐ harmonische trilling
☐ geluidssterkte (decibel)
☐ slinger
☐ dopplereffect
☐ golven
☐ zwevingen
☐ geluidsgolven
☐ Fourier-analyse (geluidsspectra)
☐ interferentie
☐ de menselijke stem
☐ resonantie
☐ het menselijke gehoor

☐ staande golven in een snaar
☐ geluidsafscherming
☐ geluid opnemen en weergegeven
☐ geluid digitaliseren (CD en mp3)
☐ slechthorendheid
☐ zaalakoestiek

Aan een aantal van bovenstaande begrippen ga je literatuurstudie doen. Je zoekt informatie op over dit onderwerp en rangschikt deze. Een eerste aanzet van de informatie is te vinden in de modules 1 en 2 van Fysica Musica. Vervolgens ga je lesmateriaal schrijven voor groep 8 van de basisschool. Dit materiaal moet minimaal aan de volgende eisen voldoen:

- Het moet een leerling uit groep 8 goed te begrijpen zijn. De tekst moet dus eenvoudig zijn opgezet en kort zijn. Ook lastigere onderwerpen zul je moeten proberen eenvoudig te omschrijven.
- Formules en rekenwerk dien je te vermijden. Je zult begrijpen dat een leerling uit groep 8 dat nog niet kan.
- De tekst over een bepaald onderwerp moet kort zijn. De hoeveelheid leeswerk moet dus heel beperkt zijn. De opzet van een werkboek is daarbij misschien de meest handige.
- Ieder onderwerp, waarbij dat mogelijk is, moet geïllustreerd worden met een eenvoudig proefje. Dit kan een demonstratieproef zijn, maar ook een proef die de leerlingen zelf kunnen doen. De proef moet uit kunnen worden gevoerd met heel eenvoudige hulpmiddelen. Uitgebreide demonstratie-apparatuur is op een basisschool niet beschikbaar.
- Bij ieder onderwerp moeten een aantal vragen of opdrachten bedacht worden, zodat de leerlingen ook actief met de stof aan de slag kunnen.
- Ieder onderwerp moet in dezelfde stijl geschreven en opgezet zijn, zodat er ook echt een geheel ontstaat.

## 4.10. Vogelgeluiden

Figuur 4.4: Een nachtegaal.

Ook dieren brengen allerlei geluiden voort. Soms maar heel zacht, soms enorm luid. Soms best mooi, soms knap irritant. Daar waar we het geblaf van een hond vaak vervelend vinden, kunnen we het gespin van een poes vaak wel waarderen. Geluiden als het geloei van een koe en het gemekker van een schaap ervaren we vaak als heel grappig.
Vogels zijn bij uitstek dieren die heel gevarieerde geluiden de natuur in brengen. We horen bijna dagelijks de 'roekoe' van een duif en het gekwetter van een meeuw. Zangvogels kunnen we vaak veel meer waarderen. De nachtegaal, zie figuur 4.4, is daar misschien wel de bekendste van. In deze opdracht ga je onderzoek doen aan allerlei vogelgeluiden. Hierbij kun je met opname-apparatuur de natuur in gaan, maar de kans dat je een vogel waarneemt die net op het juiste moment fluit is natuurlijk gering. Daarom kun je CD-opnamen gebruiken. De opdracht bestaat uit de volgende onderdelen:

- Kies een aantal geluiden van allerlei verschillende vogels.
- Doe onderzoek aan bepaalde kenmerken van de vogel. Denk hierbij aan zaken als het gebied waarin de vogel leeft, zijn leefpatroon, de massa en afmeting van de vogel, enz.
- Neem de vogelgeluiden op in een computer en pas er Fourier-analyse op toe. Onderzoek van welke grondtonen er zoal sprake is en welke boventonen er zijn.
- Bedenk een manier waarop het onderzoek op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

## 4.11. Vastleggen van geluid

Al sinds jaar en dag is men geobsedeerd door allerlei geluiden. In een vroeg stadium is men dan ook begonnen met de ontwikkeling van technieken om geluid mee op te nemen en weer af te spelen. Deze technieken zijn op zich nog niet eens zo heel erg oud en hebben zich enorm snel ontwikkeld. De standaard voor het vastleggen van muziek is nu de mp3, maar dat is eigenlijk een nog erg recente ontwikkeling.

Figuur 4.5: Een oude platenspeler.

De eerste geluiden werden vastgelegd op een wasrol. Hierna volgde al snel het opnemen op (bakelieten) platen en ontstond de platenspeler, zie figuur 4.5. Bij de ontdekking en verklaring van magnetisme zag men de mogelijkheden van magnetische opslag en ontwikkelde men de cassette.

De laatste, pakweg, twintig jaar is men geluid gaan digitaliseren. Eerst op compact disc (CD) en tegenwoordig via mp3. De geschiedenis van het opnemen, vastleggen en weergeven van geluid gaat eigenlijk niet zo gek ver terug, maar laat wel een razendsnelle ontwikkeling zien.

In deze opdracht ga je op onderzoek naar de ontwikkeling van het opnemen, vastleggen en weergeven van geluid (muziek). Denk hierbij aan het volgende:

- Bestudeer de ontwikkeling van geluidvastlegging in de geschiedenis. Bekijk de technieken die men ontwikkeld heeft en de natuurkundige principes waarop deze technieken gebaseerd zijn.
- Illustreer de technieken, daar waar dat mogelijk is, met behulp van (demonstratie-)experimenten.
- Bedenk een manier waarop het onderzoek op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

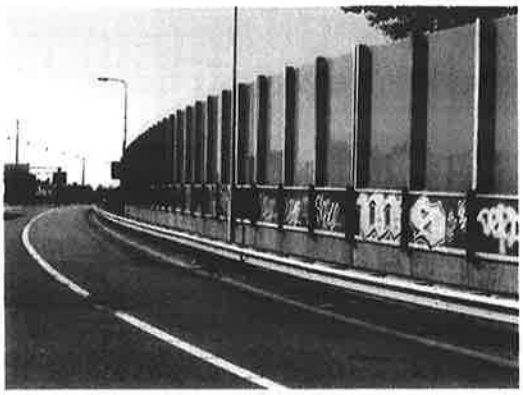
## 4.12. Geluiden om je heen

Geluid is er altijd en overal. Vaak in situaties waarin het geluid als erg prettig ervaren wordt, zoals in een geanimeerd gesprek, de televisie of radio of bij een concertbezoek. Het komt echter ook regelmatig voor dat geluid behoorlijk storend is. Van het geluid van een drukke verkeersweg, een blaffende hond of het heien in een grote stad, kunnen we behoorlijk nerveus en geïrriteerd raken.

Dit onderzoek richt zich op geluiden die je dagelijks waarneemt. Dit kunnen prettige geluiden zijn, maar ook minder plezierig geluid. De opdracht kan opgebouwd gezien worden uit de volgende onderdelen:

- Kies een of een aantal herkenbare geluiden. Aan deze geluiden ga je metingen doen. Let er hierbij op dat de geluiden niet te complex is. Eenvoudig geluid laat zich het eenvoudigst analyseren.
- Doe metingen aan de geluiden. Bepaal de grondfrequenties en de boventonen. Zoek uit of er een verband te ontdekken valt.
- Doe ook metingen aan het geluidsniveau van de geluiden. Probeer deze metingen te koppelen aan de gevoeligheid van het menselijke gehoor. Het gehoor is immers voor bepaalde frequenties gevoeliger.
- Trek conclusies uit de meetresultaten.
- Bedenk een manier waarop het onderzoek op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

## 4.13. Geluidsafscherming langs een drukke weg



Figuur 4.6: Geluidsschermen langs de snelweg.

Over bepaalde wegen rijden per dag enorm veel auto's. Deze auto's produceren een aanzienlijke hoeveelheid geluidsenergie door het gebrom van de motororen en het rollen van de banden over het wegdek. Vooral autosnelwegen vormen daarbij natuurlijk een groot probleem omdat het hier altijd druk is en de snelheid van de auto's er hoog ligt. Ook het geluid van een drukke weg in de bebouwde kom kan echter tot overlast lijden. Om deze reden zijn er allerlei maatregelen ontwikkeld om het geluid van, bijvoorbeeld, drukke wegen te beperken tot een acceptabel niveau. Geluidsschermen, zoals weergegeven in figuur 4.6, zijn wel de bekendste oplossing.

Om het geluidsnivea te beperken, kunnen er eigenlijk twee principes worden toegepast. Het principe van reflectie, waarvan geluidsschermen een voorbeeld zijn, maar ook beplanting naast de weg kan het geluidsniveau reduceren. Hierbij wordt er gebruik gemaakt van het principe van absorptie. In deze opdracht ga je onderzoek doen aan het geluidsniveau van een drukke weg en doe je aanbevelingen voor mogelijke geluidsbeperkende maatregelen. De volgende deelonderwerpen zijn daarbij aan de orde:

- Kies een drukke weg uit ergens in de buurt. Voor een bepaald deel van deze weg ga je maatregelen treffen.
- Met het (gemiddelde) geluidsniveau op een aantal punten langs de route. Bekijk of er wellicht op de route al maatregelen zijn getroffen en welke invloed deze maatregelen hebben op het geluidsniveau. Interview eventueel bewoners langs de route, zodat je een goed beeld krijgt van de problemen.
- Doe aanbevelingen voor geluidsafscherming langs de gekozen weg. Verricht hiertoe wel eerst een stuk literatuurstudie over de mogelijkheden die er bestaan over geluidsbeperking. Zorg ervoor dat je maatregelen wel realistisch zijn. De maatregelen zouden bijvoorbeeld wel het geluidsniveau kunnen reduceren, maar het woongenoot van de bewoners langs de weg teveel kunnen beperken (een groot geluidsscherm vlak voor de gevel van een huis is dus geen optie).
- Bedenk een manier waarop het onderzoek en het ontwerp op een aardige manier gepresenteerd kan worden. Om een goed beeld van de bedachte maatregelen te geven, kan bijvoorbeeld gedacht worden aan een maquette.

## 4.14. Speelgoedinstrumenten

Veel ouders proberen hun kinderen al op jonge leeftijd met muziek in aanraking te laten komen. Er wordt veel muziek gemaakt die speciaal bestemd is voor kinderen. Ook speelgoedwinkels springen op deze behoefte in. Kinderen vinden het over het algemeen erg leuk om geluiden te maken. In speelgoedwinkels zijn dan ook allerlei muziekinstrumenten te koop die lijken op echt. In figuur 4.7 staat een voorbeeld.

Figuur 4.7: Een speelgoedsaxofoon.

Het spreekt voor zich dat de speelgoedmuziekinstrumenten bij lange na niet de klank produceren van het echte instrument. De klank is vaak veel 'blikkiger' en zal waarschijnlijk veel minder boventonen bevatten. Dit heeft te maken met de

vorm van het speelgoed en het materiaal waar het instrument van gemaakt is (meestal plastic).
In deze opdracht ga je onderzoeken hoe de klank van een speelgoedmuziek-instrument er dan wel uitziet. Ook bekijk je, zo mogelijk, of er toch verbanden bestaan tussen het speelgoed en het nagemaakte instrument of dat alleen de vorm overeenkomstig is. Voer de volgende deelopdrachten in ieder geval uit:

- Kies een of een aantal speelgoed muziekinstrumenten, waaraan je metingen gaat doen. Daarbij is het wel de bedoeling dat je melodische instrumenten kiest. Slaginstrumenten (en die zijn er nogal wat in speelgoedvorm) zijn dus niet bruikbaar.
- Doe metingen aan de speelgoedinstrumenten. Bepaal de grondfrequenties en de boventonen. Zoek uit of er een verband te ontdekken valt.
- Probeer te achterhalen welke tonen het speelgoedinstrument voortbrengt. Dit achterhaal je met Fourier-analyse. Probeer, aan de hand van de meetresultaten, een eenvoudig melodietje te spelen op het speelgoedinstrument.
- Doe, zo mogelijk, ook metingen aan het echte muziekinstrument dat men in speelgoedvorm heeft na willen maken. Bepaal ook hierbij de grondfrequenties en de boventonen. Zoek weer uit of er een verband te ontdekken valt.
- Trek conclusies uit de meetresultaten.
- Presenteer het onderzoek via een schriftelijk verslag.

## 4.15. Het menselijke gehoor

Figuur 4.8: Een linker oor.

Links en rechts van ons hoofd bevinden zich onze oren. Deze zorgen ervoor dat we akoestische signalen binnen krijgen, dat deze worden verwerkt en vervolgens worden doorgegeven aan onze hersenen. Akoestische informatie kan op deze manier worden ontvangen.
Over het algemeen is het iedereen wel bekend hoe het menselijke gehoor functioneert. Maar hoe zit het nou precies? Daar ga je in deze opdracht naar op zoek. Denk hierbij aan de volgende deelonderwerpen:

- Doe literatuurstudie naar de werking van het menselijke gehoor. Ben hierbij kritisch op de informatie. Het gaat in deze opdracht niet om de globale werking van het gehoor, maar we willen het exact weten.
- Stel een model op van het menselijke gehoor. Met een model dient de werking snel en overzichtelijk duidelijk te worden.
- Illustreer bepaalde aspecten, zo mogelijk, met behulp van (demonstratie-)experimenten.
- Bedenk een manier waarop het onderzoek op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

## 4.16. De menselijke stem

Figuur 4.9: De stem.

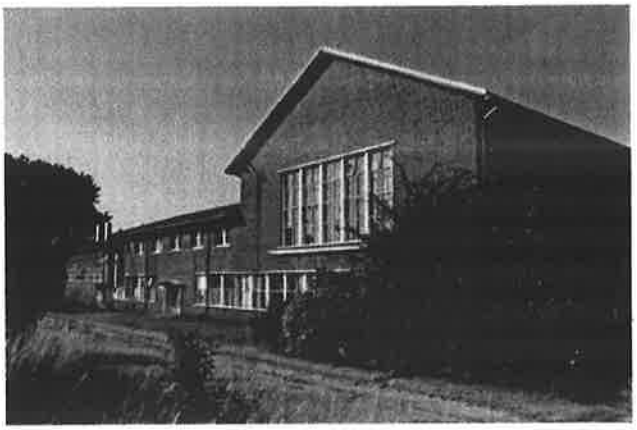
Via onze mond, onze keelholte en de stembanden zijn we in staat om geluid te produceren. We kunnen met ons gehoor akoestische signalen waarnemen. Met onze stem kunnen we akoestische signalen produceren.
Over het algemeen is het iedereen wel bekend hoe de menselijke stem functioneert. Maar hoe zit het nou precies? Daar ga je in deze opdracht naar op zoek. Denk hierbij aan de volgende deelonderwerpen:

- Doe literatuurstudie naar de werking van de stem. Ben hierbij kritisch op de informatie. Het gaat in deze opdracht niet om de globale werking van de stem, maar we willen het exact weten.

- Stel een model op van de stem en de organen die daarbij een rol spelen. Met een model dient de werking snel en overzichtelijk duidelijk te worden.
- Illustreer bepaalde aspecten, zo mogelijk, met behulp van (demonstratie-) experimenten.
- Bedenk een manier waarop het onderzoek op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

## 4.17. Gebouw als concertzaal

In iedere grotere stad zijn wel gebouwen te vinden die vroeger dienst hebben gedaan als bijvoorbeeld fabriekshal, maar die er nu er maar wat verloren bij liggen. Zie figuur 4.10. Een groep muziekliefhebbers heeft het plan opgevat zo'n pand te renoveren en om te toveren tot een concertzaal. Ze zijn niet erg goed thuis in de wereld van de akoestiek en vragen om die reden jou een voorstel te doen.



Figuur 4.10: Oude vervallen fabriek wordt concertzaal.

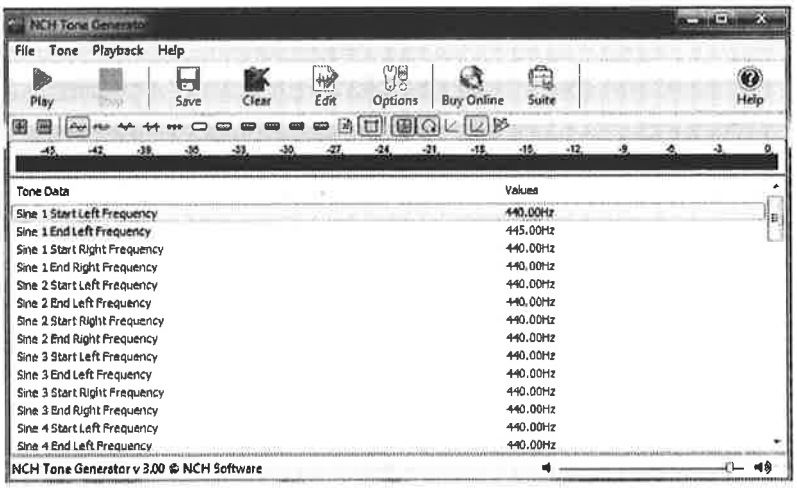
De opdracht die ze je mee geven is eigenlijk heel eenvoudig. Maak een voorstel voor de renovatie van het oude fabriekspand. De nieuwe bestemming is een concertzaal voor pop- en rockmuziek. De gemeente heeft met het idee ingestemd, maar stelt wel de eis dat het pand zal gaan voldoen aan de standaardrichtlijnen die gelden voor theaters en concertzalen. Op dit vlak bestaan er richtlijnen voor geluidsoverlast en veiligheid. De initiatiefnemers willen vooral dat de zaal akoestisch goed in elkaar steekt, maar dat de geluidsoverlast voor de omgeving wel tot een minimum beperkt wordt. De eisen die gesteld worden zijn:

- Een oud fabriekspand moet worden omgebouwd tot een concertzaal.
- De capaciteit van het pand ligt nog niet vast. Er moeten aanbevelingen gedaan worden over hoeveel mensen er in de zaal moeten kunnen. Hierbij moet er wel aan gedacht worden dat in een te grote zaal de artiesten voor een half lege ruimte staan te spelen, terwijl een te kleine zaal te snel uitverkocht raakt. Zoek uit wat de optimale capaciteit zou zijn.
- Zoek uit wat richtlijnen kunnen/moeten zijn voor de beperking van de geluidsoverlast en bedenk maatregelen die in het gebouw getroffen kunnen/moeten worden om deze overlast tot een minimum te beperken.
- Zoek uit wat richtlijnen kunnen/moeten zijn voor de veiligheid en bedenk maatregelen die in het gebouw getroffen kunnen/moeten worden om deze veiligheid te garanderen.
- De akoestiek in de zaal moet goed zijn. Er moet worden nagedacht over de inrichting van de zaal, maar ook over de techniek die in de zaal gebruikt gaat worden. Hierbij gaat het zowel om de geluids- als lichttechniek.
- De initiatiefnemers willen een gebouw met een leuke uitstraling. Daarnaast moet er gedacht worden aan het gebruikersgemak voor de bezoekers. Er moeten allerlei voorzieningen zijn, waardoor de bezoeker een leuke avond kan hebben.
- Om een goed beeld te krijgen van de mogelijkheden, kan er onderzoek gedaan worden bij andere concertzalen in het land. Aan welke zaken hebben zij

moeten denken? Welke oplossingen hebben zij bedacht voor zaken als techniek, geluidsoverlast en veiligheid?
- De initiatiefnemers willen graag een maquette, waarmee ze naar de gemeente kunnen gaan om hun plannen te illustreren. De maquette zal dus ontworpen en gebouwd moeten worden.
- Bedenk een manier waarop het ontwerp verder op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

## 4.18. Tone Generator

Op internet is allelei gratis software beschikbaar, waarmee geluiden kunnen worden gegenereerd. Een van deze programma's is de NCH Tone Generator. Met dit programma kunnen maximaal 15 tonen (in stereo) boven elkaar worden gezet.



Figuur 4.11: Screenshot van de NCH Tone Generator.

Door de gecombineerde tonen tegelijkertijd af te spelen, ontstaan nieuwe klanken. Iedere klank is immers niets meer dan een combinatie van harmonische trillingen (Fourier-analyse). Met het programma kan onderzocht worden welke afzonderlijke tonen welke klanken veroorzaken. Voer de volgende deelopdrachten uit:
- Download het programma NCH Tone Generator of een ander vergelijkbaar programma.
- Plaats een aantal harmonische trillingen boven elkaar en beluister wat het totale resultaat is. Verander bepaalde aspecten van de grondtoon of een van de boventonen (wat betreft amplitudo en/of frequentie) en beluister hoe de totaalklank verandert.
- Werk een aantal van deze klanken uit. Rapporteer de wijzigingen die je hebt aangebracht en de gevolgen die deze hadden voor de totaalklank.
- Bedenk een manier waarop het onderzoek op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

## 4.19. Slechthorendheid

Als je ouder wordt, gaat je gehoor achteruit. Je trommelvlies kan de snellere trillingen steeds lastiger volgen en kan voornamelijk de hogere tonen steeds minder waarnemen. Slechthorendheid is dan ook een probleem waarmee iedereen vroeg of laat in aanraking komt. Langdurige blootstelling aan hard geluid heeft ook tot gevolg tot ons gehoor achteruit gaat. Deze achteruitgang is onomkeerbaar. Gehoorschade die ontstaan is, kan niet meer verholpen worden.
In deze opdracht worden een aantal aspecten van slechthorendheid aan de orde gesteld. De opdracht bestaat daartoe uit de volgende deelopdrachten:

- Onderzoek hoe de geluidssterkte (het geluidsniveau) gedefinieerd is en welke problemen er optreden als er sprake is van gehoorschade. Vooral de frequentie-afhankelijkheid is hierbij van belang.
- Onderzoek een aantal maatregelen dat getroffen kan worden om gehoorschade te beperken. Vooral mensen die vanwege hun beroep met sterkte geluidsniveaus te maken hebben, maken gebruik van deze geluidsbeperkende en/of gehoorbeschermende maatregelen.
- Onderzoek hoe slechthorendheid kan worden vastgesteld en welke methoden een audiciën hiervoor gebruikt.
- Doe onderzoek aan doofheid van alleen een linker of een rechter oor. Zoek uit welke gevolgen dit kan hebben voor bijvoorbeeld het evenwichtsorgaan.
- Onderzoek een aantal maatregelen dat getroffen kan worden om opgetreden gehoorschade te compenseren (gehoorapparatuur). Bekijk op welke technieken deze maatregelen berusten.
- Probeer zelf eens (als je dat wil) te ervaren hoe het is om doof of slechthorend te zijn. Doe dit gedurende, bijvoorbeeld, een dag of een lesuur en beschrijf je ervaringen.
- Bedenk een manier waarop het onderzoek op een aardige manier gepresenteerd kan worden.

## 4.20. Muziek en natuurkunde op YouTube

Op de website youtube.com zijn talloze filmpjes te vinden over uiteenlopende onderwerpen. Enig zoekwerk levert ook filmpjes op die het verband laten zien tussen natuurkunde, techniek en muziek.

In deze opdracht ga je op zoek naar verrassende toepassingen van natuurkunde of techniek in de muziek of leuke combinaties tussen muziek, natuurkunde en techniek. Voor je je zoektocht start twee opmerkingen:

- Selecteer niet zomaar ieder willekeurig filmpje. Het gaat om leuke, verrassende en spectaculaire combinaties van natuurkunde, techniek en muziek.
- Ben nog niet tevreden met een paar filmpjes, maar selecteer er echt een behoorlijk aantal. Op deze manier komen ook meer toepassingen aan de orde.
- Bedenk een manier waarop de resultaten op een aardige manier gepresenteerd kunnen worden.

## 4.21. Heineken Music Hall Amsterdam

Figuur 4.12: De Heineken Music Hall in Amsterdam.

Een aantal jaar geleden werd in Amsterdam de Heineken Music Hall geopend, tegenover de Amsterdam Arena, zie figuur 4.12. De Heineken Music Hall is een behoorlijk grote concertzaal. De zaal heeft een oppervlak van 3000 $m^2$. Daarmee kan er een capaciteit bereikt worden van 5500 personen. De Heineken Music Hall is daarmee een van de grotere concertzalen in Nederland.

Opvallend aan deze concertzaal is de enorm goede akoestiek in relatie tot de afmeting van de zaal. Hiermee is de Heineken Music Hall wereldwijd uniek in zijn soort en is de slogan "Live will never be the same" dus erg sterk gekozen.

In deze opdracht ga je onderzoek doen naar de voorwaarden die in een concertzaal moeten gelden om de akoestiek er optimaal te laten zijn. Internet zal hierbij je belangrijkste informatiebron zijn. Het onderzoek kan worden opgebouwd uit o.a. de volgende deelopdrachten:

- Onderzoek, bijvoorbeeld via internet, welke maatregelen er in een concertzaal of theater getroffen kunnen worden om de akoestiek van de zaal te optimaliseren.
- Onderzoek welke maatregelen er getroffen zijn in de Heineken Music Hall om de akoestiek zo goed te krijgen als hij nu is. Hiertoe zou je een bezoek kunnen brengen aan de concertzaal. Je zou ook contact kunnen leggen met medewerkers van de Heineken Music Hall, die je deze informatie kunnen verschaffen. Als je, bijvoorbeeld via email, contact zoekt, dien je dit wel eerst te overleggen met je docent.
- Bekijk welke artiesten er voornamelijk geboekt worden in de Heineken Music Hall. Zoek een verklaring waarom juist deze artiesten uitgenodigd zullen worden. Is er wellicht een relatie met de uitmuntende akoestiek?
- Presenteer de resultaten van het onderzoek via een schriftelijk verslag.

## 4.22. Digitalisering van geluid

Figuur 4.13: Een mp3-speler.

In vroeger tijden was het nog niet zo eenvoudig om geluid (muziek) vast te leggen en weer terug af te spelen. Deze tak van techniek heeft een behoorlijke ontwikkeling doorgemaakt. In de jaren tachtig kwam de zogenaamde 'walkman' op de markt, een draagbare cassetterecorder die werd beluisterd via een koptelefoon. Snel daarna kwam de CD-speler opzetten, waarin geluid op een digitale manier werd vastgelegd. Ook van de CD-speler kwamen al snel draagbare varianten.

Tegenwoordig kunnen we kostelijk lachen om deze apparatuur. We maken tegenwoordig gebruik van uiterst kleine apparaatjes, waarin de muziek is opgeslagen in mp3-formaat. De opslagmethode van mp3 maakt, kort gezegd, gebruik van beperkingen in het menselijke gehoor. Bepaalde informatie kan ons gehoor toch niet waarnemen en is dus nutteloos om op te slaan.

Op een mp3-speler kunnen dan ook uren muziek worden opgeslagen. Op het oude cassettebandje was dit 90 minuten (twee zijden van elk 45 minuten) en op een CD is er ruimte voor een kleine 80 minuten muziek. Blijkbaar is het zo dat door digitalisering de opslagcapaciteit sterk vergroot kan worden.

In deze opdracht ga je op zoek naar allerlei handelingen die verricht moeten worden om geluid te digitaliseren. Ook onderzoek je manieren om dit digitale geluid te manipuleren, zodat het slechts een beperkte opslagcapaciteit vergt. Met de volgende zaken dien je in deze opdracht rekening te houden:

- Onderzoek hoe geluid gedigitaliseerd kan worden.
- Onderzoek hoe het geluidsformaat .mp3 bijvoorbeeld verschilt van het geluidsformaat .wav. Een wav.-bestand vergt veel meer geheugen dan een .mp3-bestand. De geluidskwaliteit van beide bestanden is echter sterk vergelijkbaar. Probeer een verklaring te vinden hoe dit kan.
- Onderzoek of men nog bezig is de bestandsgrootte van digitale muziek nog verder te reduceren of dat men zich in deze voornamelijk richt tot een uitbreiding van de opslagcapaciteit.

- Onderzoek hoe een mp3-speler in de praktijk werkt. Bekijk daartoe welke onderdelen er in een mp3-speler te herkennen zijn en welke functie deze onderdelen hebben.
- Bedenk een manier waarop de onderzoeksresultaten op een aardige manier gepresenteerd kunnen worden. Let hierbij vooral goed op het taalgebruik. Een leerling uit de derde klas zou het moeten kunnen begrijpen. Ook zij zullen dit immers een interessant onderwerp vinden.

## 4.23. Geluidsabsorptie

Geluidsoverlast is in de praktijk een belangrijk onderwerp. Een café in een woonwijk krijgt vaak te horen dat de geluidsinstallatie wel een streepje lager mag. Om deze reden zijn er allerlei geluidsbeperkende maatregelen ontwikkeld, die er voor moeten zorgen dat de geluidsproductie van, bijvoorbeeld, een café, zoveel mogelijk wordt gereduceerd.

In deze opdracht wordt er onderzoek gedaan naar geluidsbeperkende maatregelen. Het idee hierbij is een geluidsbron in een afgesloten ruimte te brengen en buiten de ruimte het geluidsniveau te meten.

Figuur 4.14: Een decibelmeter

Om dit onderzoek tot goede meetresultaten te laten leiden, dien je een afsluitbare ruimte te hebben. Hierbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld een afsluitbare doos of kist. In de kist plaats je de geluidsbron. Het is voor de metingen goed als deze geluidsbron een aanzienlijk geluidsvermogen heeft. Buiten de doos plaats je op vaste posities een decibelmeter (zie figuur 4.14). Een decibelmeter meet het geluidsniveau.

Bij verschillende metingen kan de doos of kist bedenkt worden met verschillend materiaal. Het effect van dit materiaal buiten de kist wordt weer gemeten met de decibelmeter. Het onderzoek moet leiden tot aanbevelingen met betrekking tot geluidsisolatie. De onderdelen van het onderzoek zijn:

- Verzamel voor het onderzoek start eerst de materialen die je nodig hebt: een doos of kist, isolatiemateriaal (verschillende soorten) en een decibelmeter.
- Doe de metingen zoals in de opdrachtomschrijving staat aangeduid. Let er daarbij op dat de metingen plaatsvinden in een redelijk stille ruimte. Het eventuele achtergrondgeluid dient in rekening te worden gebracht bij de meetresultaten. Bedenk daarbij dat decibellen niet zomaar van elkaar kunnen worden afgetrokken en bij elkaar kunnen worden opgeteld. Dit rekenwerk zit iets ingewikkelder in elkaar.
- Zorg ook voor een blanco-proef, dat wil zeggen een proef waarbij er geen sprake is van een geluidsbron binnen in een kist of doos, maar alleen van een geluidsbron. Eventuele geluidsreductie door de kist of doos kan zo in rekening worden gebracht.
- Breng verschillend isolatiemateriaal aan op de binnenwand van de kist. Herhaal de meetprocedure vervolgens. Let er op dat er wel steeds op dezelfde

posities gemeten wordt anders zijn de meetresultaten straks niet met elkaar te vergelijken.
- Kom tot aanbevelingen voor geluidsisolatie.
- Presenteer de resultaten van het onderzoek via een schriftelijk verslag.

### 4.24. Muziekstijlen

Muziek is er in talloze vormen. Een muziekvorm als klassiek kan heel rustig zijn en brengt over het algemeen geen hele hoge geluidsniveaus voort. Bij een muziekstijl als metal is dat geluidsniveau juist van het grootste belang. Het moet hard anders zijn de liefhebbers van deze muziek niet tevreden. In sommige muziekstijlen wordt voornamelijk gebruik gemaakt van akoestische instrumenten. Voorbeelden hiervan zijn weer klassiek en jazz. Andere stijlen waarderen het akoestische karakter van een instrument wel, maar maken wel gebruik van versterkingen. Op deze manier kan de muziek gespeeld worden voor een veel groter publiek. Voornamelijk in de rockmuziek wordt van dit principe gebruik gemaakt. Daarnaast bestaan er muziekstromingen die uitsluitend gebruik maken van elektronica. Stijlen als pop en dance zijn hierin de belangrijkste.
In module 3 waren al aardig wat experimenten te vinden die het doel hadden onderzoek te doen aan allerlei muziekinstrumenten. In dit onderzoek richt je je meer op muziekstijlen. In deze opdracht is het de bedoeling de keuze te maken voor een aantal muziekstijlen. Allerlei aspecten van de stijl dienen vervolgens nader onderzocht te worden.
- Kies een aantal muziekstijlen, die je met elkaar wil gaan vergelijken.
- Formuleer een aantal onderzoeksvragen. Bedenk hierbij welke aspecten van de stijl je nader gaat bekijken. Denk hierbij aan zaken als frequenties, geluidsniveau, voorkomende grondtonen, voorkomende boventonen, speciale effecten, enz.
- Verricht metingen om tot antwoorden te komen op de onderzoeksvragen. Verwerk de metingen zoals dat gebruikelijk is (in tabellen en grafieken) en formuleer conclusies zorgvuldig.
- Bedenk een manier waarop het onderzoek op een aardige manier gepresenteerd kunnen worden.

### 4.25. Akoestiekverbetering van de aula

De aula is het centrale punt van de school. In de pauzes, wanneer er honderden leerlingen in de aula vertoeven, zul je al eens gemerkt hebben dat er dan sprake is van een kakafonie aan geluid. Dit heeft alles te maken met de bouw van de ruimte. In de aula is immers veel hard materiaal gebruikt. Hard materiaal weerkaatst geluidsgolven heel goed. Hierdoor dooft geproduceerd geluid slechts langzaam uit. Er ontstaat een grote nagalmtijd.
Voor bepaalde activiteiten is zo'n grote nagalmtijd niet gewenst. Bij een diploma-uitreiking hebben sprekers veel last van hun eigen echo en voor een muziek-uitvoering is de akoestiek verre van ideaal. De directie van de school heeft het besluit genomen enige aanpassingen te gaan doen aan de aula om de akoestiek van de ruimte te verbeteren. Ze geven jou de opdracht na te denken over deze aanpassingen. Hiertoe hebben ze een aantal eisen opgesteld:
- De akoestiek van de aula moet beter. De nagalmtijd moet worden gereduceerd, maar deze mag ook weer niet dusdanig klein worden dat er een hele geluids-doffe ruimte ontstaat.
- De exacte waarde van de nagalmtijd is onbekend en moet dus gemeten worden.

- Aan de aula moeten aanpassingen worden gedaan, maar deze mogen de uitstraling van de aula niet teveel veranderen.
- De aanpassingen moeten eenvoudig, mooi en goedkoop zijn.
- De bevindingen en aanbevelingen moeten op een aansprekende manier gepresenteerd worden.