



Fysica Musica

Muziek als natuurkunde is natuurkunde als muziek! Al sinds jaar en dag worden in de hogere klassen van havo en vwo onderwerpen behandeld als trillingen, lopende golven, staande golven en interferentie. Ieder jaar blijkt weer dat leerlingen best interesse hebben in dit onderwerp, maar dat deze interesse eigenlijk te weinig bevredigd wordt. Het leggen van de koppeling tussen natuurkunde en muziek kan daarbij uitsluitel bieden:

Fysica Musica. Karel Langendonck

In de examenprogramma's van havo en vwo is de aandacht voor trillingen, golven en geluid beperkt. De basisbegrippen binnen het domein 'trillingen en golven' worden dan wel behandeld, maar onderwerpen als galm, diffractie, zwevingen, geluidsniveau en frequentie-analyse ontbreken en dat maakt een diepgaande koppeling tussen muziek en natuurkunde een hele uitdaging. Toch zijn de genoemde onderwerpen voor leerlingen over het algemeen vrij goed te doorgronden en hebben zij doorgaans weinig moeite deze toe te passen in een experiment of opgave. De examenmakers maken hiervan gebruik en er verschijnen dan ook regelmatig opgaven in het eindexamen met een context die gebaseerd is op een muziekinstrument.

Een aantal jaren geleden ontwikkelde ik het projectmateriaal *Fysica Musica* om leerlingen te confronteren met de toepassingen van natuurkunde in muziek (instrumenten). Het materiaal wordt inmiddels op enkele tientallen scholen in Nederland en Vlaanderen succesvol en op diverse manieren toegepast. Leerlingen worden via practica, opgaven, onderzoeks- en ontwerp opdrachten geconfronteerd met de koppeling tussen natuurkunde en muziek. In dit artikel zal een aantal van de opdrachten verder worden uitgewerkt: de rietjessaxofoon, de didgeridoo, gehoorbescherming en een aantal onderzoeks- en ontwerp opdrachten.

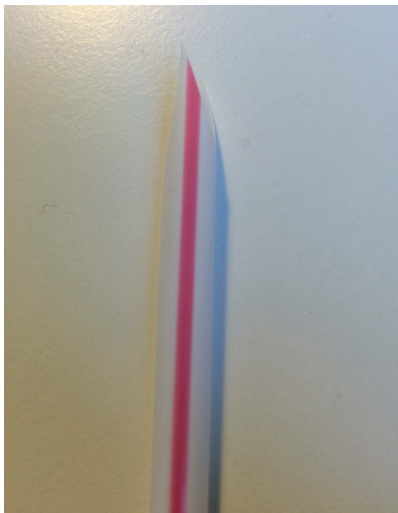
Rietjessaxofoon

Een rietjessaxofoon kan gemaakt worden door een rietje aan een uiteinde spits af te knippen (zie figuur 1). Door het spitse gedeelte aan te blazen, ontstaat een toon. Deze toon kan vervol-

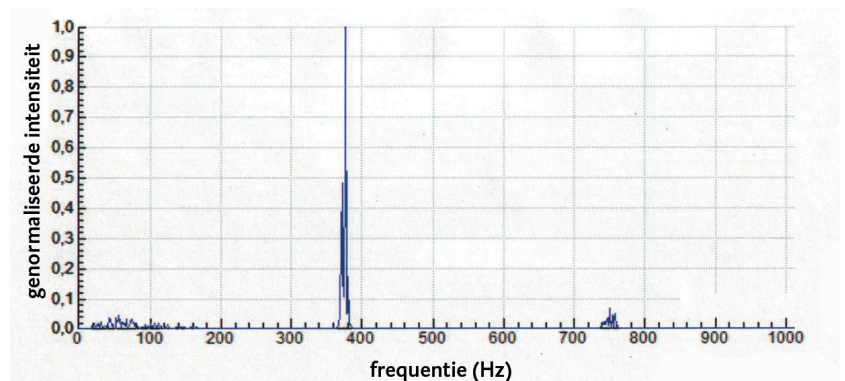
gens geanalyseerd worden en de theoretische koppeling naar de staande golven in luchtkolommen kan door de leerlingen worden gelegd.

Bij het ontwerp van een rietjessaxofoon is het zaak gebruik te maken van een dikker formaat rietje, liefst van een wat slapper plastic. De rietjes van McDonalds zijn bij uitstek geschikt. Het opnemen van de toon met meetsoftware is niet moeilijk, hoewel de leerlingen er wel nadrukkelijk rekening mee moeten houden dat de meetfrequentie voldoende hoog wordt ingesteld. Dit is een aspect dat een mooi inzicht geeft in sampling en de voorbereiding van een meting in een gegeven situatie. Het toepassen van frequentie-analyse blijft voor leerlingen veelal beperkt tot het verrichten van de juiste handelingen in de software. Enig elementair inzicht in Fourieranalyse is daarbij wel van belang.

In figuur 1 is het frequentiespectrum



Figuur 1 Een rietjessaxofoon ontstaat door het spits afknippen van een rietje. Met behulp van meetsoftware kan van de klank een frequentiespectrum worden opgesteld.



weergegeven van een meting aan een rietjessaxofoon, waarbij slechts een klein stukje van het rietje was afgeknipt. Er is sprake van een toon van ongeveer 380 Hz. Met de geluidssnelheid kan snel de golflengte (0,90 m) berekend worden. Als er vanuit wordt gegaan dat er sprake is van een buis met een gesloten en een open uiteinde kan de lengte van het rietje geverifieerd worden. De waarde van 0,22 m blijkt vrij aardig te kloppen, maar is niet exact juist. Met enige hulp kunnen leerlingen hieruit de conclusie trekken dat de werkelijkheid net wat ingewikkelder in elkaar steekt dan de theorie doet vermoeden en dat is een belangrijke ervaring voor leerlingen op havo- of vwo-niveau.

Didgeridoo

Een didgeridoo (zie figuur 2) is een Australisch blaasinstrument dat een uiterst lage toon voortbrengt. Het voordeel van het doen van metingen aan een lage toon is het feit dat het niet direct noodzakelijk is dat de samplingfrequentie van de meetsoftware hoog ligt. Er kan dus volstaan worden met wat tragere (oudere) apparatuur.

Het zelf maken van een didgeridoo is erg eenvoudig. Een ppc-buis volstaat uitstekend. Als er met bijvoorbeeld bijenwas een mondstuk op de buis wordt gemaakt, kan deze ook goed worden aangeblazen. Het vergt slechts een paar minuten oefening om een acceptabele klank uit de buis te krijgen, waarna het meten kan starten. Er ontstaat een vergelijkbaar meetresultaat zoals ook al beschreven bij de rietjessaxofoon en ook de aanname dat het hier om een open-gesloten-systeem gaat, is billijk.

Het aardige van de ppc didgeridoo is dat het eenvoudig is de buislengte te verkorten (door een stukje van de buis af te zagen) om zo de golflengte en de frequentie van de toon te beïnvloeden. Door de verkorting een aantal maal toe te passen en de meting steeds te herhalen, ontstaat een set met data, waaraan interessante conclusies te verbinden zijn. Door de frequentie van de toon immers in een grafiek uit te zetten tegen de reciproke waarde van de golflengte ontstaat een rechte lijn door de oorsprong. De richting van deze lijn leidt tot de geluidssnelheid, waarmee leerlingen dus (ook) een experiment hebben uitgevoerd



Figuur 2 Een didgeridoo is een lange buis die door de juiste blaastechniek in resonantie gebracht kan worden.

waarmee zij de geluidssnelheid kunnen bepalen.

Geen muzikale vaardigheid nodig

Muzikale vaardigheid van leerlingen is niet noodzakelijk om succesvolle metingen te kunnen doen. In figuur 3 zijn zogenoemde boomwhackers te zien, kunststof buizen die een klank voortbrengen afhankelijk van hun lengte. Het geluid ontstaat door middel van een klap met de buis op een ander voorwerp. Er is hier, in tegenstelling tot de rietjessaxofoon en de didgeridoo, sprake van een open-open-buissysteem. Octaveren van de toon is mogelijk door een van de uiteinden van de boomwhacker af te dichtten.

Gehoorscherming

Veel leerlingen bezoeken inciden-

teel of regelmatig concerten of festivals en worden hier geconfronteerd met het belang van gehoorbescherming. Het onderzoeken van de meest efficiënte vorm van gehoorbescherming wordt

Karel Langendonck studeerde technische natuurkunde in Eindhoven. Hij werkte vijftien jaar als docent natuurkunde in het voortgezet onderwijs en is sinds vier jaar verbonden aan de Fontys Lerarenopleiding Tilburg als lerarenopleider natuurkunde. Karel ontwerpt projectmateriaal waarmee leerlingen echte natuurkunde kunnen ervaren (onder andere een project in relatie tot Walibi Holland en klassieke mechanica en het hier beschreven *Fysica Musica*) en geactiveerd worden in het vak.



k.langendonck@fontys.nl



Figuur 3 Boomwhackers.

door leerlingen dan ook als uiterst relevant ervaren. Het experiment hiertoe is eenvoudig. Op een decibelmeter wordt een buisje geplaatst, waarin stoffen kunnen worden geplaatst die gehoorbeschermend zouden moeten zijn (watjes, was enzovoorts), zie figuur 4. Door een toon aan te bieden met een bekend geluidsniveau kan de geluidsniveaureductie bepaald worden.

Onderzoeks- en ontwerp opdrachten

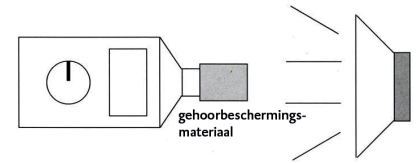
Meer open onderzoek en de uitvoering van technisch ontwerp opdrachten door leerlingen is gemeengoed geworden in het huidige onderwijs. Het zelfstandig op zoek gaan naar wetmatigheden vormt een essentiële vaardigheid voor leerlingen in de hogere klassen van havo en vwo. Leerlingen worden hierin gedwongen een onderzoeksmatige houding aan te nemen die zeer gewenst is voor een vervolgstudie in het hoger onderwijs. De koppeling tussen de schoolnatuurkunde en de echte wereld van de leerling motiveert enorm en concrete (echte) opdrachten leveren hieraan een belangrijke bijdrage.

In *Fysica Musica* is een aantal onderzoeks- en ontwerp opdrachten opgenomen. Voor de ontwikkeling van onderzoeksvaardigheden en het verkrijgen van extra inzicht in akoestiek kunnen leerlingen kiezen uit een diversiteit aan onderzoeksthema's (uiteraard mogen zij ook zelf met een onderzoeksvraag komen, maar voor veel leerlingen is dit vaak net een brug te

ver). Een voorbeeld is het onderzoek aan tonen die ontstaan bij het aanblazen van een fles, waarbij leerlingen geconfronteerd worden met de Helmholtzresonator. Ook de akoestische analyse van een muziekinstrument staat als opdracht uitgewerkt, zo ook een onderzoek naar geluidsabsorbende maatregelen.

Ontwerp opdrachten worden door veel leerlingen zeer gewaardeerd. Men is immers bezig met de analyse van een concrete casus en het daarbij creëren van een concreet product. Zo kunnen leerlingen binnen het project bijvoorbeeld de keuze laten vallen op een opdracht waarbij zij aanbevelingen moeten doen voor aanpassingen aan de aula van de school om tot een betere akoestiek te komen (bijvoorbeeld in het kader van muziek- of toneelvoeringen). Het spreekt voor zich dat hieraan ook een groot stuk literatuurstudie gekoppeld is, waarbij leerlingen geconfronteerd worden met echte toepassingen van natuurkunde.

Ook het ontwerpen van een eigen muziekinstrument spreekt veel leerlingen aan. Men onderzoekt de technische mogelijkheden die hierin bestaan en maakt een keuze voor een bepaalde aanpak. Snarinstrumenten zijn daarbij een welkome keuze. Een voorbeeld staat weergegeven in figuur 5 waarin een één-snarige gitaar (een *diddley bow*) te zien is. Dit instrument is gemaakt van onder andere een houten kistje, een stuk bezemsteel, een dikke bout en een sluitring voor een tuinslang (en uiteraard een snaar). Na



Figuur 4 Eenvoudige opstelling voor een onderzoek aan geluidsabsorbende materialen.



Figuur 5 Een *diddley bow* is een één-snarige gitaartje.

het ontwerpproces worden de leerlingen uitgedaagd aan hun instrument geluidsmetingen te doen en hierop frequentie-analyse toe te passen. Ook dan volgt zonder uitzondering de conclusie dat de werkelijkheid toch net iets ingewikkelder is dan de schoolnatuurkunde (hier over staande golven in een snaar) doet vermoeden.

Conclusie

Al met al levert het projectmateriaal *Fysica Musica* voldoende mogelijkheden om leerlingen te laten werken met deels voor hen bekende natuurkunde, aangevuld met een mooie verdieping. De koppeling van natuurkunde aan muziek motiveert en stimuleert een beter begrip in het vak en daarom was het allemaal te doen. Muziek als natuurkunde is natuurkunde als muziek!