

WND conferentie 2014

Werkgroep Akoestiek

Vincent van Dijk & Ron Vonk – U-talent Academie – FiSme

Vanuit de U-talent Academie wordt verrijkend en verdiepend lesmateriaal ontwikkeld voor bèta-leerlingen. Het onderwerp akoestiek vormt de basis voor een tweedaagse module, waarbij ook een bezoek aan muziekcentrum TivoliVredenburg is inbegrepen. In de module akoestiek wordt nieuwe kennis aangeleerd (met name dB-schaal en nagalmtijd) en toegepast.

Binnen deze module maken de leerlingen kennis met een aantal nieuwe natuurkundige begrippen (geluidsterkte, luidheid, nagalmtijd) en gaan vervolgens verschillende experimenten over geluid en akoestiek uitvoeren. De meeste van die experimenten zijn ook gemakkelijk uit te voeren op school en gaan over een voor veel leerlingen nieuw, interessant en praktisch gebied (bv. geluidbeleving, akoestiek van een ruimte).

Tijdens deze werkgroep worden verschillende onderdelen van de module besproken en in de context van bèta-excellentie geplaatst. De onderwerpen die aan bod komen, zijn onder andere modelleren en berekenen van de nagalmtijd, experimenteel bepalen van nagalmtijd, akoestische eigenschappen en functionaliteit van een ruimte. Veel van deze onderwerpen zijn geschikt als basis voor een pws of po. Veel van het lesmateriaal zal voor de deelnemers aan deze werkgroep beschikbaar worden gesteld.

Kijk alvast voor een voorproefje op http://youtu.be/GQ_9xb9GF7A



U talent leerlingen tijdens de excursie in TivoliVredenburg

Inleiding

In dit bundeltje enkele onderdelen van de op de U-Talent Academie ontwikkelde module akoestiek. Dit materiaal is uitgedeeld in het kader van de werkgroep tijdens de WND conferentie in december 2014.

Dit materiaal is niet bedoeld voor verspreiding, wel willen we er graag met u over van gedachten wisselen. Te beginnen tijdens de werkgroep maar ook later via mail: r.d.j.vonk@uu.nl

Vincent van Dijk

Ron Vonk

Voorbereiding: Akoestiek voor architecten



Akoestiek-expert Julian Treasure houdt een TED talk waarin hij pleit voor meer aandacht bij architecten voor de akoestiek van de ruimtes die ze ontwerpen. Bekijk deze TED talk, je kunt Nederlandse ondertiteling aanzetten en je kunt ook een Nederlandstalig transcript van deze TED talk downloaden. Zie

https://www.ted.com/talks/julian_treasure_why_architects_need_to_use_their_ears

Deze presentatie is ook te vinden via de U talent website:

<http://u-talent.nl/mod/url/view.php?id=254>

Vorbereiding 2: Akoestiek in concertzalen en testruimtes

In verschillende concertzalen en testruimtes zijn enkele ballonnen tot ontploffing gebracht. Deze ontploffingen zijn in willekeurige volgorde achter elkaar geplakt. Het geluidsbestand is hiervan voor jullie beschikbaar op de U-talent website:

<http://u-talent.nl/mod/resource/view.php?id=253>

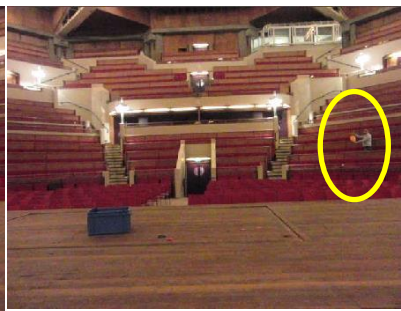
Je ziet hieronder de zes foto's van de ballonnen op de film, net voordat de ballonnen lek geprikt worden. Om de ballonnen beter vindbaar te maken, zijn deze bij twee foto's geel omcirkeld. De afbeeldingen zijn allemaal beeldjes van filmopnames. De geluidsopname die je *hoort* is vanaf exact dezelfde plek gemaakt als de afbeelding die je *ziet*. Op basis van wat je ziet op de beelden kun je een eerste inschatting maken hoe de ruimte zal klinken. Mogelijk ben je ook bekend met een of meerdere van deze ruimtes. De volgorde van de beelden is door elkaar gehaald en komt niet overeen met de volgorde waarin ze in het geluidsbestand gemonteerd zitten.

2.1 . Zet de onderstaande foto's op volgorde zoals je deze op het geluidbestand hoort.

2.2 . Licht toe waarom je deze volgorde gekozen hebt, van welke geluidsignalen ben je vrij zeker en bij welke twijfel je nog?



A: TivoliVredenburg, grote zaal
podium



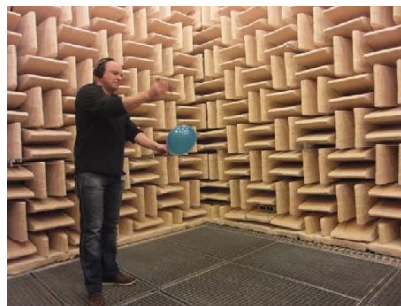
B: TivoliVredenburg grote zaal,
midden



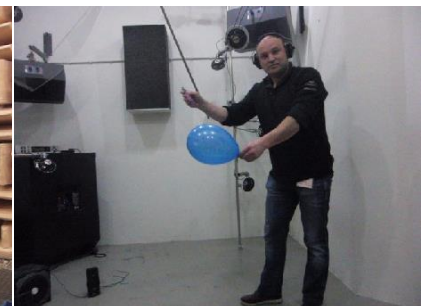
C: TivoliVredenburg grote zaal,
achterin



D: TivoliVredenburg Pandora zaal



E: TNO dode kamer



F: TNO echokamer

Nieuwe kennis 1: dB-schaal

Een manier om bij een dergelijk groot meetbereik om te gaan is het gebruik van een logaritmische schaal. Hierbij wordt van de waarde die je wilt uitdrukken de logaritme gegeven. Dit is wat er gebeurt bij de bel-schaal. Hier wordt de intensiteit weergegeven als de logaritme van de verhouding tussen de gemeten sterkte en de gehoordrempel. Deze gehoordrempel I_0 is (gebaseerd op experimentele waarnemingen) bepaald op: $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$.

Met de bel-schaal komt de formele definitie op:

$$L = \log (I / I_0)$$

Hiermee wordt de geluidsintensiteit uitgedrukt in *bel*. Een tweede reden voor het gebruik van deze logaritmische schaal is dat het oor intensiteit ook min of meer logaritmisch ervaart (en dus niet lineair). Een verdubbeling van de geluidsbronnen ervaart het oor niet als twee keer zo hard.

Op zich werkt de bel-schaal prima maar het is veel gebruikelijker om dit weer om te rekenen naar *decibel* (dB) waarbij uiteraard geldt $10 \text{ dB} = 1 \text{ B}$ (net zoals $10 \text{ dm} = 1 \text{ m}$).

Alles bij elkaar wordt daarmee in de decibelschaal de geluidssterkte L vastgesteld als tien keer de logaritme van de verhouding tussen de geluidintensiteit en de gehoordrempel.

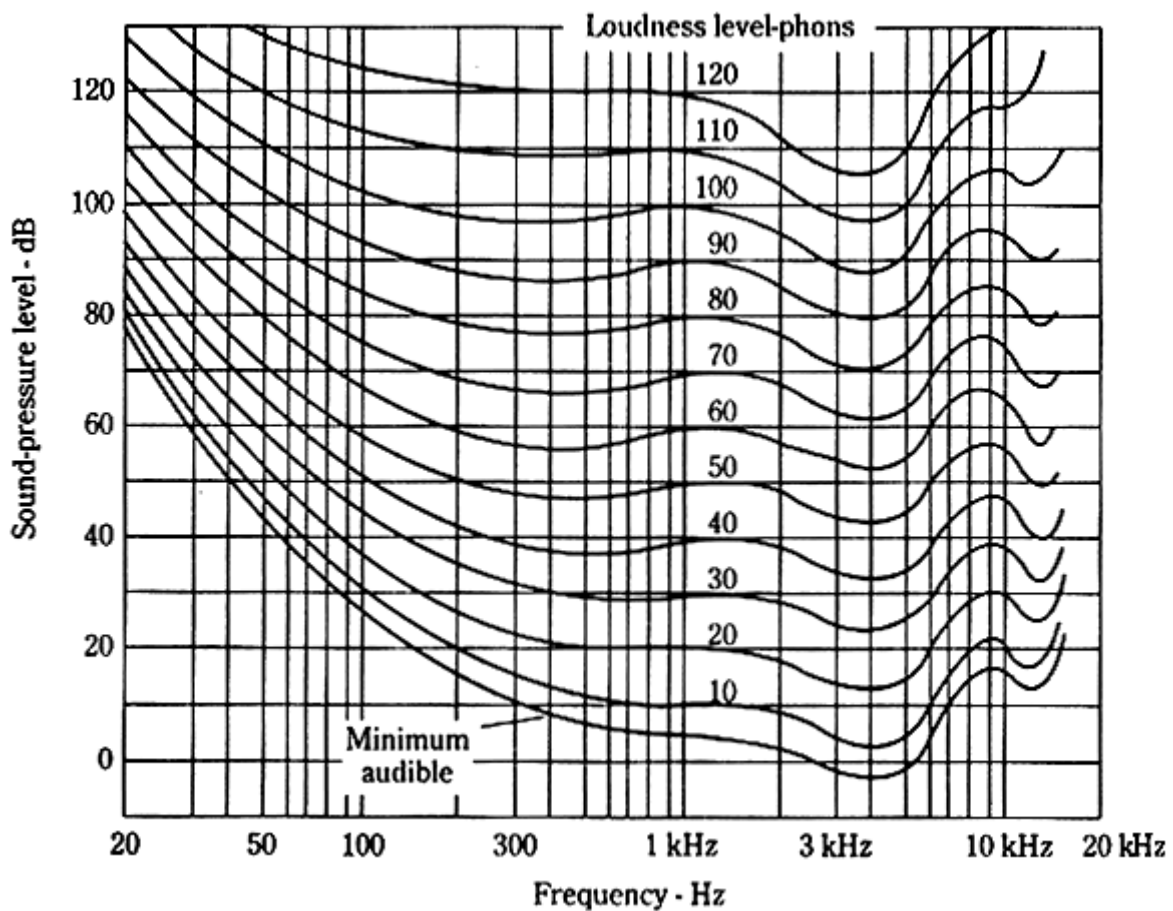
In formulevorm is dit:

$$L = 10 * \log (I / I_0)$$

Met L in decibel en $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$. Let op dat het hier om de log gaat met 10 als grondtal (en dus niet de natuurlijke logaritme met e als grondtal)

Nieuwe kennis 2: Gehoorgevoeligheid, foon-schaal

Binnen de dB-schaal wordt alleen gekeken naar de hoeveelheid energie in een geluidsignaal. Dit is objectief en eenduidig te meten (wanneer je over de juiste apparatuur beschikt). Daarmee is de dB-schaal onafhankelijk van de frequentie. Een waarde van 60 dB is 60 dB, of het nu een signaal is van 10 Hz of van 100 Hz of van 10.000 Hz. Het menselijk gehoor ervaart de luidheid van deze signalen echter wel verschillend. Het is namelijk zo dat het menselijk gehoor het meest gevoelig is in het gebied tussen de 2 kHz en de 6 kHz (beredeneer waarom dit logisch is). Om de gevoeligheid voor frequentie tot uitdrukking te brengen is de foonschaal geïntroduceerd.



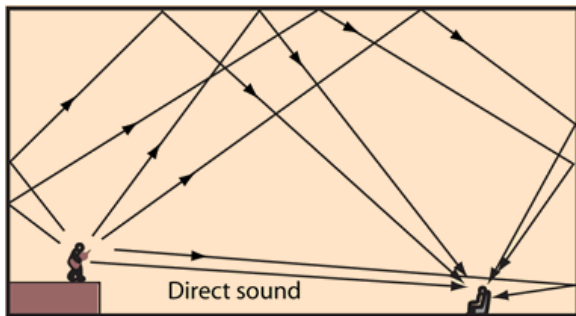
frequentieafhankelijkheid van waargenomen luidheid.

Een foon geeft aan hoe sterk een geluid bij 1 kHz moet zijn (dus in dB) om even luid te klinken. Per definitie is 1 foon gelijk aan 1 dB bij een frequentie van 1 kHz. Bovenstaande figuur geeft een aantal **foonlijnen** weer. Geluid op de 60 foonlijn klinkt net zo luid als een geluid van 60 dB bij 1 kHz. Bij hoge frequenties (boven 6 kHz) en lage frequenties (onder 150 Hz) moet geluid dus sterker zijn om even luid te klinken. Bij frequenties rond 4 kHz zijn geluiden die even luid klinken als bij 1 kHz juist minder sterk.

Opgave 7 Gehoorgevoeligheid

- Leg uit hoe in de grafiek te zien is dat de 1 kHz als referentie gebruikt wordt voor de foon.
- Hoe luid moet een toon van 200 Hz zijn om net zo luid te klinken als een toon van 2 kHz bij 9 dB?
- Door teveel met oortelefoons op te werken, heeft Jochem een geluidsdip in het gebied tussen 7 kHz en 12 kHz. Leg uit hoe voor hem de grafiek op de voorgaande bladzijde eruit gaat zien.

Nieuwe kennis 3: Nagalmtijd

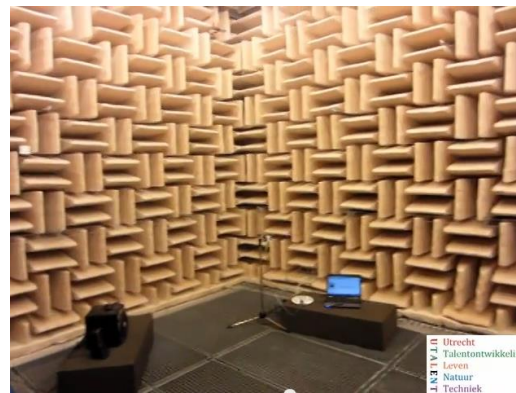
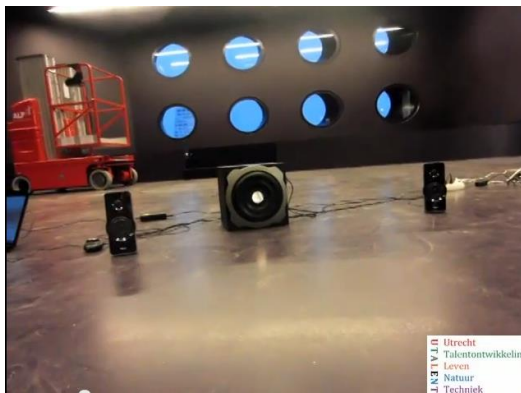


Auditorium	t1(floor, ms)	RT(125Hz)	RT(500 Hz)	RT(2000 Hz)
Symphony Hall, Boston	15	2.2	1.8	1.7
Orchestra Hall, Chicago	40	...	1.3	...
Severance Hall, Cleveland	20	...	1.7	1.6
Carnegie Hall, New York	23	1.8	1.8	1.6
Opera House, San Francisco	51	...	1.7	...
Arie Crown Theatre, Chicago	36	2.2	1.7	1.4
Royal Festival Hall, London	34	1.4	1.5	1.4
Royal Albert Hall, London	65	3.4	2.6	2.2
Concertgebouw, Amsterdam	21	2.2	2.1	1.8
Kennedy Center, Washington	...	2.5	2.2	1.9

Ontstaan van nagalm, bron hyperphysics

Nagalmtijd van enkele beroemde concertzalen, bron hyperphysics

Bekijk en beluister de twee onderstaande filmpjes. Je ziet een filmpje van een geluidbestand dat via een pc wordt afgespeeld. Tijdens het filmen loopt de cameraman door de ruimte. De camera filmt de pc en speaker maar ook de wanden en de plafonds. Ga na hoe de klank en het geluid afhangt van de plek in de ruimte.



Echofilmpje Pandora <http://youtu.be/Xlaa-R4oa1g>

Echofilmpje dode kamer <http://youtu.be/tERC1-wV4-M>

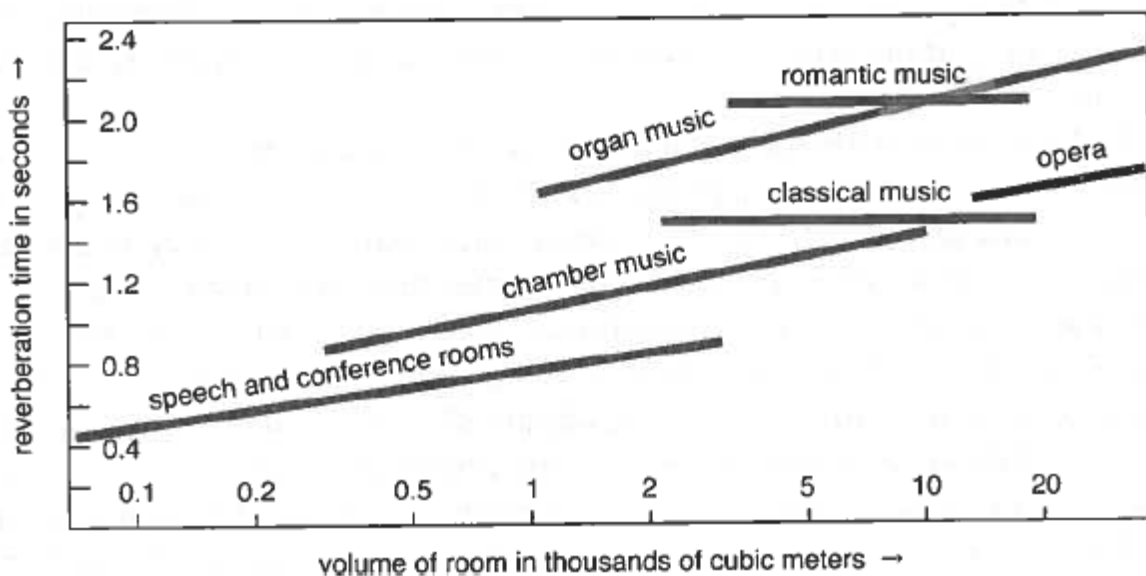
Zoals je merkt, wordt het geluid dat je waarneemt mede bepaald door de ruimte waarin je je bevindt en de plek waar je in die ruimte staat. De meest kenmerkende factor is de sterkte van het geluid. Naarmate de wanden van de ruimte het geluid beter weerkaatsen, is het geluid sterker. Dit betekent niet automatisch dat het geluid dan ook beter waarneembaar is. Vergelijk maar eens de verschillende geluidsopnames op http://bk.nijsnet.com/02080_geluiddemonstraties.aspx

Een grootheid waarmee je de mate van weerkaatsing kunt uitdrukken is de nagalmtijd. De nagalmtijd is gedefinieerd als de tijd die nodig is om een geluidssignaal 60 dB in sterkte te laten dalen. Voor de dode kamer is de nagalmtijd zeer klein, voor een kathedraal is de nagalmtijd heel groot. In feite heb je bij de voorbereidingsopdracht met de knallende ballonnen de nagalmtijd al gebruikt.

Definitie: De nagalmtijd is de tijd die nodig is om een geluidssignaal 60 dB in sterkte te laten dalen.

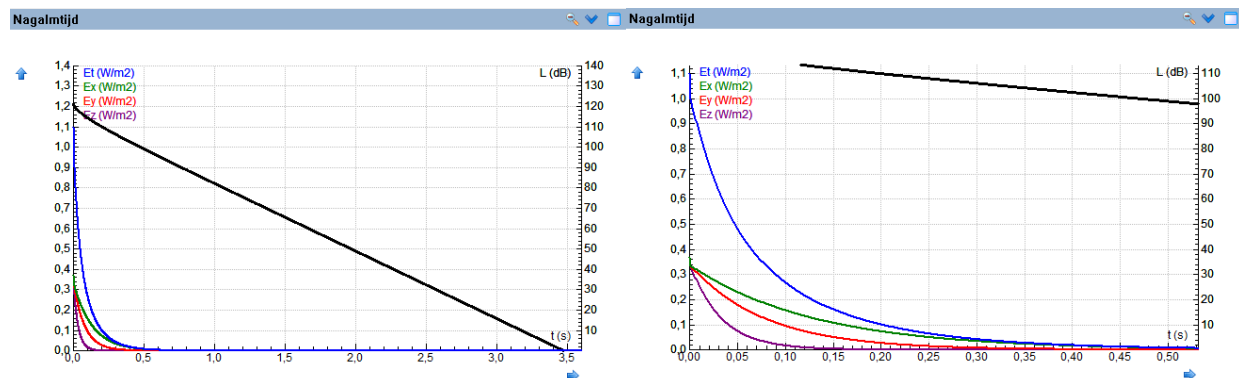
Voor spraak en muziek is de gewenste nagalmtijd niet hetzelfde. Bij teveel galm kan een gesproken tekst al onverstaaanbaar worden terwijl het voor muziek juist mooi kan zijn. Ook verschillende soorten muziek hebben elk een eigen ideale nagalmtijd. Het blijkt dat de nagalmtijd ook afhankelijk is van de frequentie, zie daarvoor de afbeelding op de voorgaande bladzijde. Hier gaan we op dit punt niet verder op in maar je kunt dit wel oppakken als keuzeopdracht.

In onderstaande figuur zie je de afmetingen en nagalmtijden voor verschillende toepassingen en ruimtes weergegeven. Merk op dat ook hier op de x-as een logaritmische schaal gebruikt wordt. Op de x-as is de schaalafstand tussen 500 m³ en 1000 m³ net zo groot als tussen 1000 m³ en 2000 m³



Nieuwe kennis 4: Het modelleren van de galm

Op basis van de definities is het mogelijk om voor terugkaatsend geluid het verloop van de geluidssterkte te berekenen met een model. In dit model worden de energieën in drie richtingen berekend, bij elkaar opgeteld en daaruit vervolgens de geluidssterkte in dB bepaald. Je ziet hieronder links de resultaten van het model voor de totale berekening, daarnaast dezelfde resultaten ingezoomd op het eerste deel van de berekening.



De met een model berekende energieën (linker as) en geluidssterkte (rechter as)

Detail van de grafiek van de nagalmtijd, ingezoomd op het stuk tussen $t = 0,00$ s en $t = 0,50$ s

Opgave 6: Analyse van de resultaten van het model

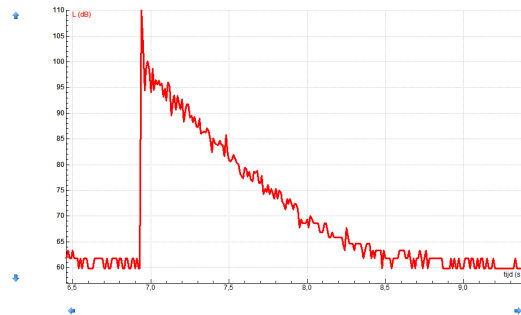
-
- De lijn voor de geluidssterkte (in dB) is een rechte lijn. Leg uit dat dit logisch is gelet op de definitie van de nagalmtijd.
 - Bepaal de nagalmtijd die uit dit model volgt.
 - Verklaar de vorm van de energieën, waarom dalen deze in het begin veel sterker dan aan het einde?
 - De energieën in de verschillende richtingen hebben elk een ander verloop, de ene richting neemt deze sneller af dan de andere. Geef twee redenen wat hiervan de oorzaak kan zijn.

Opmerking: natuurkundig gezien is het bedenkelijk om het over de richting van de energie te hebben maar daar gaan we hier niet verder op in.

Nieuwe kennis 5: Het bepalen van de nagalmtijd uit meetwaarden



Meetopstelling met links de resten van de geklapte ballonnen en op het beeldscherm de meetresultaten.



Meetwaarden in een grafiek

Nu we weten wat het effect is van het achtergrondgeluid op de nagalmtijd, kunnen we deze nagalmtijd gaan meten.

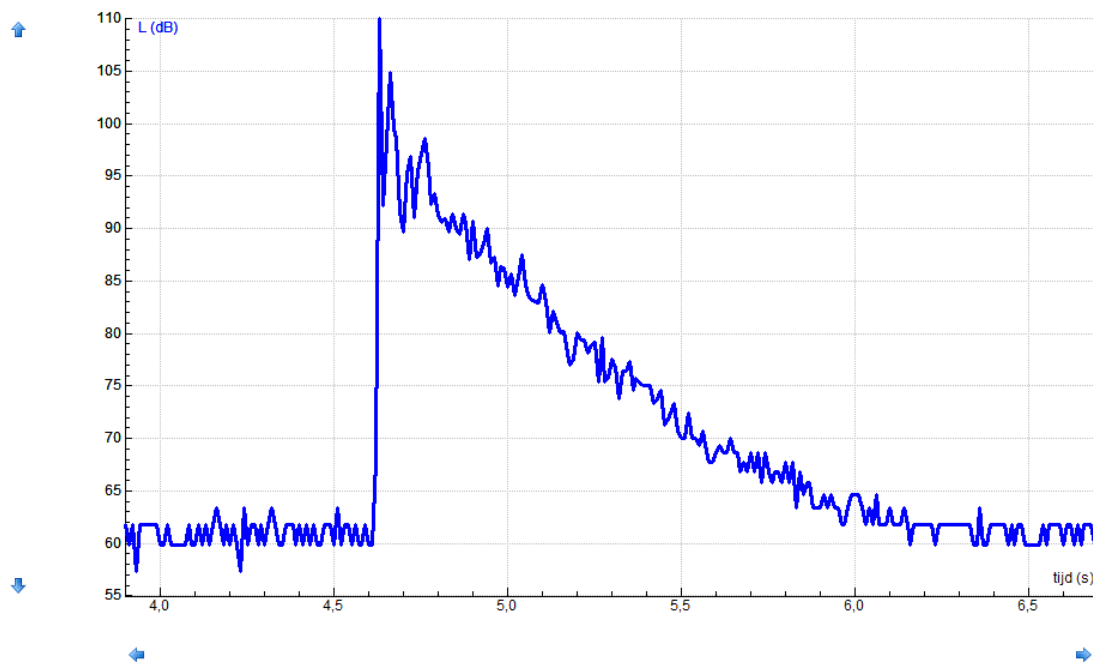
De metingen (beginnend op de volgende bladzijde) geven een beeld van een min of meer lineair afnemende geluidssterkte. Er zit behoorlijk wat ruis op maar de trend is goed zichtbaar. De nagalmtijd is uit elke grafiek te bepalen door het verlies aan geluidssterkte te extrapoleren tot 60 dB. Er zijn meetgegevens beschikbaar van de volgende ruimtes (meest ruimtes zijn bekend van het filmpje van de voorbereidingsopdracht):

1. Grote zaal TivoliVredenburg
2. Pandora zaal TivoliVredenburg
3. dode kamer TNO
4. practicumzaal 026 Minnaertgebouw
5. lesruimte 325 BBG.

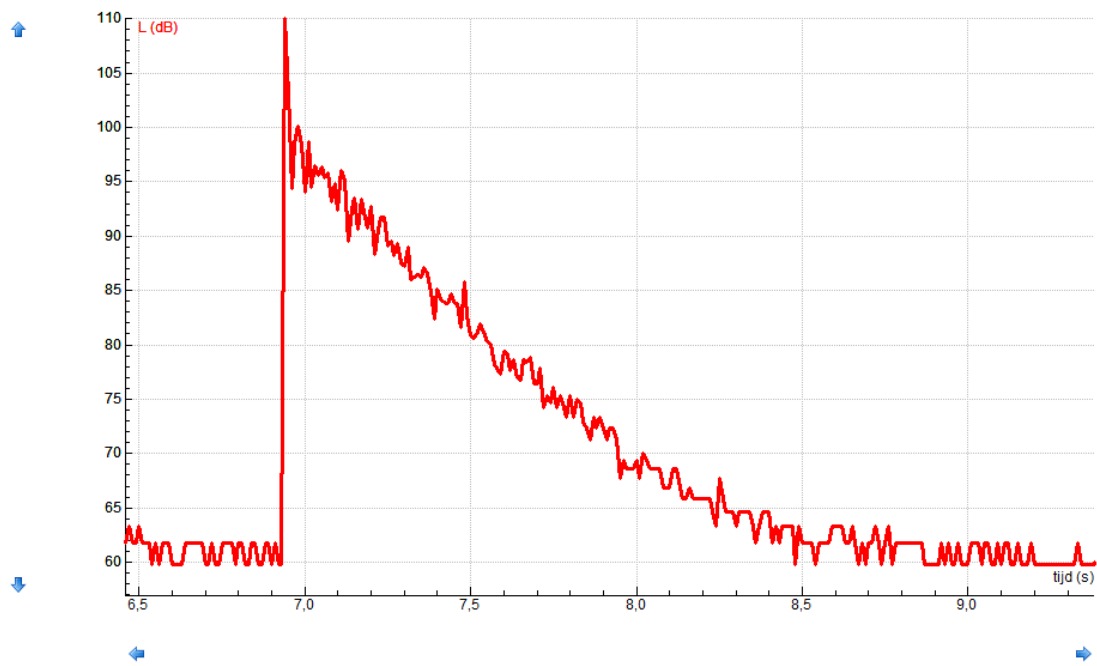
Opgave 8: Bepalen van de nagalmtijd uit serie meetwaarden

- Zet de genoemde ruimtes op volgorde van nagalmtijd, de ruimte met de langste nagalmtijd als eerste.
- Binnen de groep wordt aan iedereen gevraagd om van een of twee ruimtes deze nagalmtijd te bepalen. Bepaal voor de aangegeven ruimte de nagalmtijd. Merk op dat de metingen onderling niet direct te vergelijken zijn omdat er verschillende tijdschalen gebruikt worden.
- Geef bij je bepaling van de nagalmtijd ook de marges aan voor de waarde die je opgeeft.

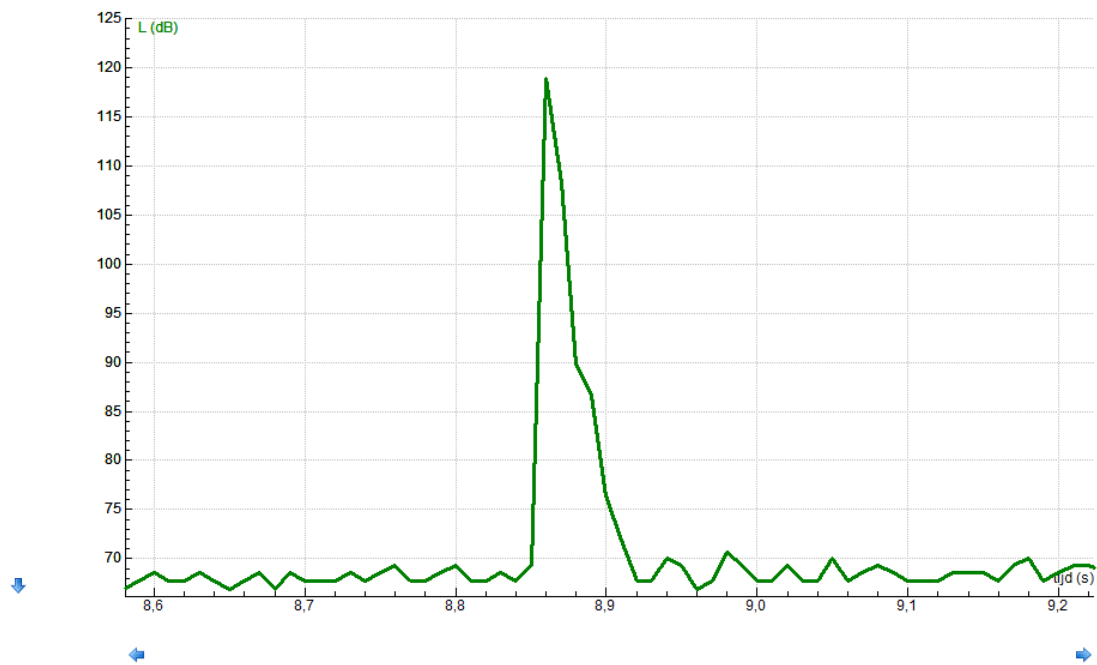
Grote zaal TivoliVredenburg



Zaal Pandora TivoliVredenburg



Dode kamer TNO



Eindopdracht: Advies op het gebied van de akoestiek (keuze-opdracht)

Je hebt nu kennis gemaakt met verschillende aspecten van akoestiek. In een van deze aspecten ga je je verder verdiepen én daarover advies uitbrengen aan je opdrachtgever. Dit doe je in een groepje van drie personen. Je werkt daarbij aan een probleem waarvoor je een oplossing ontwikkelt. Dit ondersteun je met literatuuronderzoek of een experiment (of beide). Het product dat je maakt is een powerpoint-presentatie of een videofilmje.

Het niveau van je advies moet overeenkomen met het niveau van de module. Je mag er vanuit gaan dat je opdrachtgever de basiskennis van natuurkunde beheerst, uiteraard haak je hier op in in je advies. Je wordt hierbij beoordeeld op de volgende punten.

- Probleemstelling

Wordt in deze module beschreven maar in sommige gevallen zitten daar wat vrijheden in. Voor een adviesbureau is het gebruikelijk om het probleem duidelijk te omschrijven en af te bakenen. Zorg dus dat dit helder omschreven is, dat voorkomt discussie achteraf.

- Onderbouwing

Onderbouw het probleem met theorie die je tijdens deze module (inclusief voorbereidingsopdracht) hebt opgedaan. Vul dit aan met bronnen die je zelf gevonden hebt in het kader van deze opdracht.

- Advies

Het advies dat je uitbrengt moet praktisch uitvoerbaar zijn en ondersteund worden door theorie en berekeningen.

- Presentatie

Weet je je advies overtuigend te brengen? Laat je in dit advies zien dat je het onderwerp akoestiek goed beheerst?

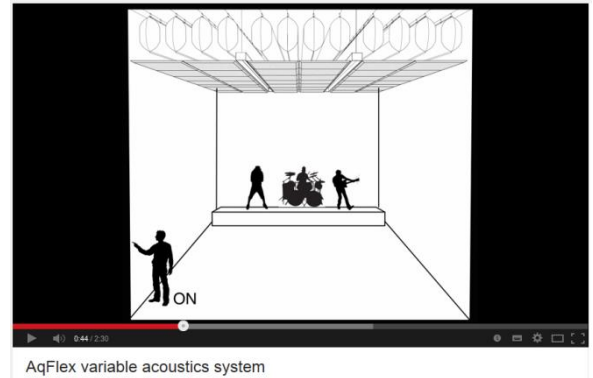
In de volgende paragraaf vind je een aantal mogelijke onderwerpen. Je mag hierin vrij kiezen maar maar elk onderwerp mag maximaal twee keer gekozen worden. Overleg dit met je medeleerlingen en je docent. Deze bepaalt de definitieve verdeling van de keuze-onderwerpen. Zoals je ziet is er ook ruimte om zelf een onderwerp te bepalen (10. Open opdracht). Bij elke opdracht wordt tenminste één bron genoemd, het is uitdrukkelijk de bedoeling dat je zelf op zoek gaat naar aanvullende bronnen.

Mogelijke opdrachten

Bepaal in overleg met je docent en medeleerlingen je onderwerp uit onderstaand overzicht.

1. AqFlex systeem

De beheerder van een groot voetbalstadion (bijvoorbeeld de Kuip, Arena of Galgenwaard) wil graag naast het voetbal ook concerten organiseren. Een probleem hierbij is de geluidskwaliteit, met name voor de lage frequenties. Jij bent vertegenwoordiger van het AqFlex systeem en houdt een pleidooi om jouw systeem in te zetten bij de concerten.



Leg uit wat dit systeem inhoudt, welke fysische eigenschappen hier een rol spelen en waar het in de praktijk wordt toegepast.

<http://youtu.be/ZPsXJGK6iAQ>

<http://www.gerriets.com/en/products/collection/Absorber-system-AqFlex.php>

2. Afnemen van de basfrequenties

Als beheerder van een klassieke concertzaal krijg je met enige regelmaat klachten van mensen op de achterste rijen die de bassen niet goed kunnen horen. De lage tonen in een geluidsspectrum lijken minder sterk aanwezig wanneer je op grotere afstand van het orkest bent. Dit heeft met de gevoeligheid van het oor te maken.

Hoe ontstaat dit precies? Hoe groot is dit effect in de praktijk? Wat kun je er tegen doen?

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/acoustic/baslos.html#c1>

3. Aanpassen van de akoestiek

De beheerder van een buurtcentrum wil in zijn ruimte zowel bingo-avonden kunnen houden als concertjes van een kamermuziekensemble maar ook disco-avonden voor de jongere jeugd. Hij heeft de beschikking over een middelgrote ruimte en wil die voor al deze doeleinden kunnen inzetten.

Voor multifunctionele ruimtes kan het belangrijk zijn om de akoestische eigenschappen te veranderen. Met welke maatregelen kunnen de akoestische eigenschappen van een ruimte snel worden aangepast? Hoe groot zijn de marges waarbinnen dit kan gebeuren? Welke maatregelen zijn het meest effectief?

Jij bent ingehuurd om dit probleem op te lossen en doet hiervoor een voorstel.

Zie voor een voorbeeld hoe dit zou kunnen het interview met Theo Raijmakers (tweede deel): <http://u-talent.nl/mod/resource/view.php?id=257>

4. Nagalmtijd meten

Je hebt op school of in een andere ruimte waar je vaak komt last van de akoestische eigenschappen. Volgens jou ligt dit aan de nagalmtijd en je wilt bij een besliser (wethouder, rector, beheerder sporthal) een onderbouwd verzoek indienen om hier iets aan te doen.

Bepaal van een ruimte op school of elders de nagalmtijd en breng duidelijk verslag uit van je metingen. Geef aan wat jouw meetwaarden zijn en welke marges hier in zitten. Doe ook een voorstel hoe je dit zou kunnen aanpassen. Bij deze keuze-opdracht ligt de nadruk op het zelf uitvoeren van een experiment maar je mag de context niet vergeten. Deze opdracht is alleen uitvoerbaar als je op school over meetapparatuur beschikt om het experiment uit te voeren (bijvoorbeeld Coach of Spark).

Dit experiment is in de les getoond, voor het effect van slechte akoestiek op het welbevinden van de gebruikers kun je de TED talk van Julian Treasure nog eens nakijken (<http://u-talent.nl/mod/url/view.php?id=254>). Zie hiervoor eventueel ook <http://www.akoestiekmeesters.nl/akoestiek-en-uw-gezondheid/>

5. Absorberende materialen

In een kleine kantoorruimte is het achtergrondgeluid te sterk. De gebruiker geeft aan dat er *'teveel galm in de ruimte zit'*. Met welke maatregelen kun je dit verminderen? Het is duidelijk dat je de akoestische eigenschappen van een ruimte kunt beïnvloeden door absorberende materialen te plaatsen. Kies zelf een kantoorruimte (bestaand of fictief) waarvoor je dit probleem gaat aanpakken. Welke materialen zijn daarvoor het meest geschikt? Op welke plekken kun je die materialen het beste plaatsen?

http://bk.nijsnet.com/02030_Abs_mat.aspx

6. Ontwerpen van ruimtes

Daar waar in deze module de nadruk ligt op concertzalen, zijn er uiteraard ook andere grote ruimtes met elk hun eigen akoestische eigenschappen. Denk hierbij bijvoorbeeld aan een klaslokaal, congresruimte, aula of bioscoop. Aan welke eisen moeten verschillende ruimtes voldoen? Hoe kun je dit bereiken?

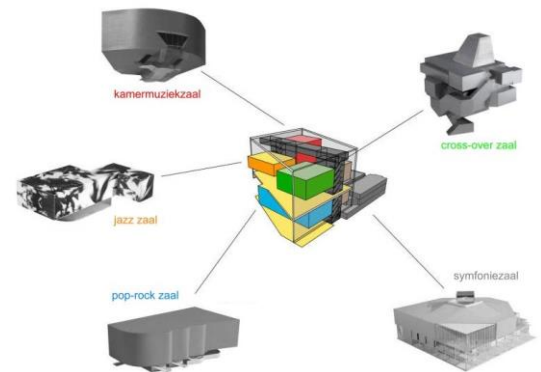
Je kiest deze opdracht zelf de ruimte die jij wilt ontwerpen.

http://bk.nijsnet.com/04_Ontwerpregels.aspx

7. Geluidlek TivoliVredenburg

In TivoliVredenburg zitten vijf verschillende muziekhallen zeer dicht bij elkaar. Hierdoor is het mogelijk dat geluid van de ene naar de andere zaal 'lekt'. Bij de bouw is dit tegengegaan maar in sommige gevallen treedt een dergelijk geluidlek toch op.

Welke maatregelen zijn er bij de bouw genomen om dit lekken tegen te gaan? In welke gevallen is er sprake van een zogenaamd 'geluidlek'? Wat kan er gedaan worden om dit verder op te lossen?



<http://www.volkskrant.nl/vk/nl/2686/Binnenland/article/detail/3673398/2014/06/17/Geluidlek-TivoliVredenburg-stelt-deskundigen-voor-raadseel.dhtml>

8. Formule voor nagalmtijd afleiden, regel van Sabine

De nagalmtijd meten is met de juiste apparatuur goed haalbaar. Het vooraf berekenen van de nagalmtijd is in principe ook mogelijk. De regel van Sabine is hiervoor een manier. Je krijgt bezoek van een architect die een ruimte ontworpen heeft en van jou wil weten wat de akoestische eigenschappen van die ruimte worden.

Je gebruikt hiervoor de regel van Sabine. Wat zijn de achtergronden van deze regel? Kun je hiervan een afleiding geven (dat kan wiskundig vrij diep gaan)? Komen theorie en praktijk hierin overeen? Zijn er alternatieve methoden om de nagalmtijd te berekenen? Kun je de architect overtuigen dat jouw berekeningen kloppen?

http://bk.nijsnet.com/0206010_TH04_Nagalm.aspx

<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/acoustic/revmod.html#c1>

9. Nagalmtijd en reflecties berekenen

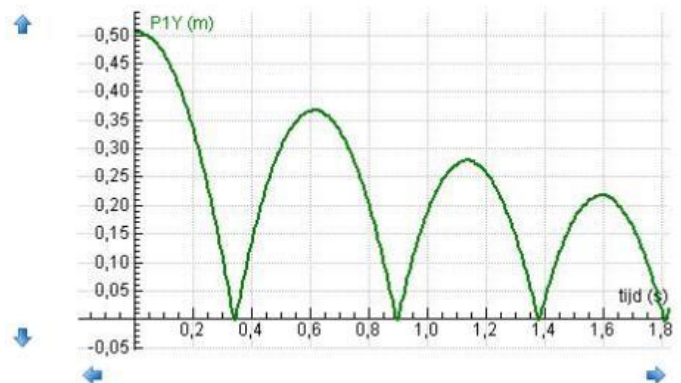
De nagalm ontstaat doordat bij een wand een groot deel van het geluid weerkaatst wordt. Dit geluid weerkaatst vervolgens weer tegen een andere wand enzovoort. In een ruimte treden in korte tijd zeer veel reflecties op die allemaal bij elkaar moeten worden opgeteld om de energie op een bepaald moment te bepalen. In de praktijk is dat handmatig niet te doen maar wel met een rekenprogramma zoals Excel of Coach.

Schrijf een programma (model) waarmee je de nagalmtijd in een ruimte kunt berekenen, uitgaande van de formule voor de weerkaatsing van geluid. Maak je model zo dat de variabelen (afmetingen en absorptiecoëfficiënten) eenvoudig kunnen worden aangepast. Bereken de waardes zowel in Joule als in dB. Vergelijk je waardes met wat je vindt met de regel van Sabine.

Wiskundig gezien is dit vergelijkbaar met de hoogte die een herhaald opstuitende pingpongbal behaalt.

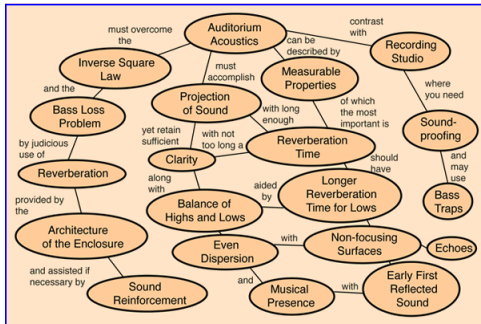
Zie hiervoor ook

<http://www.natuurkunde.nl/artikelen/view.do?supportId=938640>

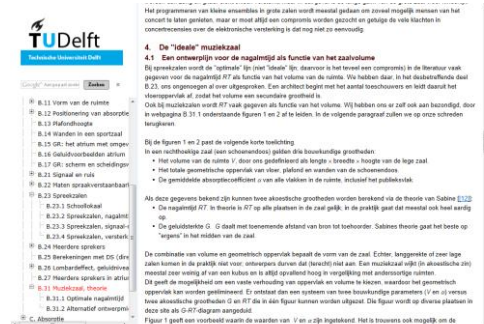


10. Open opdracht

Kies een probleem dat inhoudelijk en wat betreft diepgang overeenkomt met de hiervoor beschreven opdrachten. Overleg met je docent op welke manier je dit wilt aanpakken. Enkele bronnen die je kunnen helpen bij het bepalen van je onderwerp vind je hieronder.



Hyperphysics, deelpagina over Auditorium Acoustics



Voorbeeldpagina van de website over ruimte-akoestiek

Ruimte-akoestiek uit Delft: <http://bk.nijnsnet.com/>

Auditorium acoustics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/acoustic/auditcon.html#c1>

Sound: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/sound/soucon.html>