

**OPTIMALISEREN van  
de RUIMTEAKOESTIEK**

voor de leslokalen en studieruimtes van  
het nieuwe Conservatorium van Amsterdam

**AFSTUDEERVERSLAG**

Marten Valk [1018825]

 **TU Delft**

hoofdmentor:

ir. Lau Nijs

BTO-mentor:

ir. Peter van Swieten

**PEUTZ**

ir. Peter Heringa





**Optimaliseren van de ruimteakoestiek**  
voor de leslokalen en studieruimtes van het Conservatorium van Amsterdam

Marten Valk (1018825)  
Faculteit Bouwkunde TU Delft  
vakgroep Bouwfysica

*maart 2005 - januari 2006*





*'Listen to the Music, Not the Room.'* (Peter d'Antonio, Trevor Cox)





## Samenvatting

Het doel van dit afstudeeronderzoek was het optimaliseren van de ruimteakoestiek voor de leslokalen en studieruimtes van de nieuwbouw van het Conservatorium van Amsterdam. Daarbij werd de noodzakelijkheid om de akoestiek in een ruimte aan te kunnen passen onderzocht.

Een comfortabele akoestiek houdt in dat de ruimte prettig te bespelen is, het natuurlijke geluid van het instrument niet wordt aangetast, het creatieve proces niet in de weg gestaan wordt en het niet vermoeiend is om langere tijd in de ruimte te verblijven. Voor docenten is het daarom van belang dat de instrumenten niet te luid klinken en het geheel niet zo galmend is dat het moeite kost om de verschillende tonen te kunnen onderscheiden. Studenten worden in de lessituatie juist gesteund door galm en kunnen daardoor comfortabel musiceren. In de studieruimtes wordt individueel geoefend, waardoor de akoestiek daar vaak wat droger en dus confronterender mag zijn. In deze kleinere ruimtes bleek de invloed van de luidheid veel groter. Over het algemeen kan gesteld worden dat de akoestiek goed is als deze eigenlijk niet opgemerkt wordt. Hetzelfde geldt voor andere comfortaspecten als bijvoorbeeld licht- en luchtkwaliteit.

Voor het dit project werden twee testruimtes gebouwd om te onderzoeken wat voor verschillende instrumenten de akoestische gewenste configuratie van de breedbandabsorptiepanelen is. Deze panelen, die zowel laag-, midden- als hoogfrequent ongeveer gelijk absorberen, bleken in de metingen beter te absorberen dan bij een eerder advies was aangenomen. Door het toevoegen, verplaatsen of verwijderen van de panelen in de testruimte, konden de verschillende akoestische parameters aangepast worden. Meer panelen leveren meer absorberend vermogen op, waardoor de nagalmtijd korter wordt en het luidheidsniveau lager. Door het breedbandige karakter van de panelen was de bass-ratio, de verhouding tussen de verschillende frequenties, goed. De goede verdeling van de panelen op de wanden en het plafond heeft een positieve invloed op het ervaren van het klankbeeld. De ruimtelijkheid bleek voor leslokalen en studieruimtes nauwelijks van belang te zijn.

De invloed van verschillende opstellingen werd zowel objectief als subjectief getest. Er werden nagalmtijd- en luidheidsmetingen verricht in de testruimtes. Tevens werd de nagalmtijd van de huidige lokalen gemeten. Voor de subjectieve ervaring werd getest met de toekomstige gebruikers, de docenten en studenten van het CvA. Als voorbereiding op de te onderzoeken onderdelen werd een enquête opgezet, die door 65 muzikanten is ingevuld. In de testruimtes werd naast het invullen van testformulieren, de discussie met de docenten en studenten aangegaan over de beoordeling van de akoestiek. Hier kwamen tevens functionele aspecten aan de orde.

De vraag hoe deze subjectieve aspecten vertaald kunnen worden naar een objectief model, wordt beantwoord met formules voor verschillende instrumentgroepen. Verschillende instrumenten stellen namelijk sterk uiteenlopende eisen aan de ruimteakoestische voorzieningen. Modellen zijn opgesteld voor jazzblazers, koperblazers, houtblazers, fluiten, snaarinstrumenten, piano, orgel, strijkers, elektrisch versterkte instrumenten, contrabas jazz, zang, niet-melodisch slagwerk, mallets, pauken, koperensemble, jazzcombo/popband, klassiek ensemble, theorie algemeen en theorie solfège.

Anders dan bestaande beschrijvingen van de gewenste nagalmtijd voor muziekzalen, zoals Cremer en Müller en Nijs en de Vries deze opgesteld hebben, blijkt de invloed van de luidheid voor kleinere ruimtes sterk van invloed te zijn, waardoor van een ander basismodel uit moet worden gegaan.

Voor grote zalen geldt de volgende gangbare formule voor bepaling van de gewenste nagalmtijd ( $RT$ ):

$$\log RT = a \log V + b \quad [11.3]$$

Het model dat met dit onderzoek voor kleine ruimtes is opgesteld, is hieronder weergegeven.

$$RT = p \log V + q \quad [11.6]$$

Hierbij zijn  $p$  en  $q$  constanten, die afhankelijk zijn van de instrumentgroep.

Aan de hand van de indeling in instrumentgroepen kon voor de leslokalen van het nieuwe CvA advies uitgebracht worden over de hoeveelheid panelen die per lokaal benodigd is. Daarbij wordt aangetekend dat de panelen zo goed mogelijk verdeeld moeten worden over de wanden en het plafond. Door de duidelijke labeling van instrumentgroepen aan lokalen, is het in het nieuwe CvA overbodig om variabele akoestiek toe te passen in de leslokalen en studieruimtes. Variabele akoestiek wordt alleen aangeraden als er instrumenten met verschillende akoestische eisen of zowel solo- als ensemblespel in dezelfde ruimte plaatsvindt. In de leslokalen kan de akoestiek per semester worden aangepast. Dit is van belang als er een andere instrumentgroep in een ruimte komt of als docenten een kleine aanpassing in de hoeveelheid of plaatsing van de panelen willen. Omdat de studieruimtes niet per instrumentgroep te labelen zijn uit oogpunt van flexibiliteit en bezettingsgraad, is hier gekozen voor het ontwerpen van drie akoestische milieus. Deze zijn gekoppeld aan de plattegronden van de nieuwbouw.



# Inhoud

	<b>Voorwoord</b>	<b>1</b>
	<b>Symbolenlijst</b>	<b>3</b>
<b>1.</b>	<b>Inleiding</b>	<b>5</b>
<b>2.</b>	<b>De wereld van de ruimteakoestiek</b>	<b>7</b>
	2.1 Bouwfysica: de plaats van de ruimteakoestiek	7
	2.2 De werking van geluid	8
	2.3 Inleiding ruimteakoestiek	10
	2.4 Ruimteakoestiek voor muziek ruimtes in het bijzonder	15
<b>3.</b>	<b>Het breedbandabsorptiepaneel</b>	<b>17</b>
	3.1 De grammatica van het paneel	17
	3.2 De nagalmkamer	19
	3.3 De effectiviteit van de panelen	20
<b>4.</b>	<b>Nagalmtijd en luidheid in de testruimtes</b>	<b>23</b>
	4.1 Het meten van de akoestiek	23
	4.2 De twee testruimtes	25
	4.3 De nagalmtijden in de testruimtes	27
	4.4 De luidheid in de testruimte van het muzieklokaal	32
	4.5 De nagalmtijden in de lokalen van het huidige gebouw	33
<b>5.</b>	<b>Muziekinstrumenten in een ruimte</b>	<b>35</b>
	5.1 De werking van muziekinstrumenten	35
	5.2 De instrumentgroepen van een conservatorium	40
	5.3 Muziek versus spraak	43
	5.4 Welke ruimtelijke aspecten zijn van invloed?	44
<b>6.</b>	<b>Het variëren van de akoestiek</b>	<b>47</b>
	6.1 De wil om te variëren	47
	6.2 De verschillende methoden	48
	6.3 Referentieprojecten	50
	6.4 Eisen aan variabele akoestiek voor leslokalen	54
<b>7.</b>	<b>Akoestiek tussen de oren</b>	<b>57</b>
	7.1 Psychologie in de akoestiek	57
	7.2 Van Subjectief naar objectief	57
	7.3 De enquête	59
	7.4 Opzet voor de testen	62
<b>8.</b>	<b>Het proces en de betrokken partijen</b>	<b>65</b>
	8.1 De opdracht	65
	8.2 De rolverdeling	65
	8.3 De aandachtspunten van het proces	66
<b>9.</b>	<b>De ruimteakoestiek voor conservatoria</b>	<b>69</b>
	9.1 Het Conservatorium van Amsterdam	69
	9.2 Het akoestisch advies voor de nieuwbouw	69
	9.3 Referentieprojecten	70
	9.4 Hoe gaat men om met de akoestiek?	72

<b>10.</b>	<b>Het onderzoek in de testruimtes</b>	<b>75</b>
10.1	De opzet van de testen	75
10.2	Resultaten voor het muziekleslokaal	78
10.3	Resultaten voor de studieruimte	85
<b>11.</b>	<b>Van testgegevens naar advies</b>	<b>89</b>
11.1	Het vertalen van de testgegevens	89
11.2	Het model voor de verschillende instrumentgroepen	90
11.3	Vertaalslag naar het aantal panelen voor leslokalen	96
11.4	Drie akoestieken voor de studieruimte	98
11.5	Model voor algemene leslokalen	98
<b>12.</b>	<b>De architect en de bouwtechnische ingreep</b>	<b>101</b>
12.1	Het ontwerpen van de akoestiek	101
12.2	Het inpassen van variabele akoestiek en materialiseringsideeën	102
12.3	De panelen van het conservatorium	105
<b>13.</b>	<b>Het afstudeerproces</b>	<b>107</b>
<b>14.</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b>	<b>111</b>
	<b>Bijlagen:</b>	<b>113</b>
A.	Het leerplan	114
B.	Enquête "Ruimteakoestiek voor Muzikanten"	117
C.	Formulier "Testweken" met docenten	119
D.	Formulier "Testweken" met studenten	120
E.	Adviesrapport	123



## Voorwoord

Op 25 oktober 1983 sta ik quasi nonchalant voor me uit te staren op de bouw van mijn ouderlijk huis. Ik heb absoluut nog geen benul van de bouwwereld. Hoe worden de krachten afgedragen? Hoe worden warmte en vocht gereguleerd? En hoe is er architectonisch onverantwoord ontworpen? Deze vragen behoren nog tot de categorie raadsels.

Op mijn negende ga ik trompet spelen en op mijn vijftiende wil ik naar het conservatorium. Mijn trompetdocent op de Hengelose Muziekschool Bert Fransen weerhoudt mij daarvan: "Je kunt beter een vak leren". Zo gaat dat in Twente. Op mijn zeventiende besluit ik om bouwkunde te gaan studeren in Delft. Bert Fransen vraagt toch nog eens hoe het met mijn plannen staat om naar het conservatorium te gaan, want het zou zonde zijn als ik mijn trompet min of meer aan de wilgen zou hangen. Eind goed, al goed: Marten gaat de studie bouwkunde aan de TU Delft combineren met de vooropleiding trompet jazz aan het Conservatorium van Amsterdam.

Bijna iedereen, die binnenkomt bij bouwkunde wil de nieuwe Koolhaas worden. En bij het conservatorium Benjamin Herman. Zo ook Joris Roelofs, die met mij een solfègeklasje bij Ruud Ouwehand deelt. Na twee jaar dubbel studeren, bleek het voor het derde jaar niet meer te combineren. Ik sloot de deur op de Van Baerlestraat voorzichtig achter mij dicht. Zo kon ik mij volledig richten op bouwkunde.

Met meer dan drieduizend studenten is bouwkunde nogal een brede opleiding. Het echte architectonisch ontwerpen vond ik maar lastig. Vooral omdat ik alles, het liefst wiskundig, wilde berekenen en verantwoorden. Het was onbegrijpelijk dat Prof. Max Risselada de diepere betekenis van mijn uit zeshoeken opgebouwd woningcomplex niet zag. Ik flirte nog met de presentatiekant door het maken van een aantal filmpjes. Al had dit volgens Jack Breen weinig meer met architectuur te maken. Mede door de onduidelijkheid omtrent het dubbel afstuderen, verdween mijn animo voor bouwtechnologie én architectuur. Ik besloot op de deur van 5.14 aan te kloppen. Het kabinet van Lau Nijs, de akoesticus van de faculteit Bouwkunde.

Voor MSc 3 deed ik samen met Giel Spee een praktisch onderzoek naar akoestische voorzieningen op de faculteit zelf. Het praktische karakter en de wetenschap dat er iets met onze bevindingen gedaan zou worden beviel me. Ik had geen zin om voor mijn afstuderen de ideale concertzaal te ontwerpen. Dan was ik van twee zaken zeker. De zaal zou niet ideaal zijn en tevens niet gebouwd worden. Wat denkt een studentje in minder dan een jaar neer te zetten? Op mijn zoektocht naar een praktijkopdracht kwam ik bij Adviesbureau Peutz terecht. Peter Heringa bood mij daar de mogelijkheid terug te keren op de Van Baerlestraat.

Het knikje van Ruud Breuls deed mij onmiddellijk zijn verhalen over 'de cats' herinneren, Charles 'Charlie' Green heeft nog steeds dezelfde gebreide muts en omhelsde me bijna op die chaotische parkeerplaats van het CvA en Jan Oosthof liet zien nog steeds als geen ander te weten hoe die lucht door de trompet moet. Ruud van Dijk vond het ineens niet zo erg dat ik geen cent had betaald voor die twee jaar vooropleiding, het voorrecht van de tweede studie. En Bram Strijbis



gaf me elke keer een hand als ik hem tegenkwam. Leuk montuur. Met mijn eigen sleutel kon ik aan de slag in de niet geventileerde fitnessruimtes met kussens en topmusici. Op weg naar de testruimtes liep ik in de gang langs de aankondiging van het eindexamen van Joris Roelofs.

Natuurlijk zijn muzikanten ranzig. Wat dacht Perry Hoogendijk wel, door mij voor niets naar Amsterdam te laten komen? Natuurlijk moest er veel geregeld worden en achter mensen aan gezeten worden. Maar natuurlijk was het fantastisch en had ik dat er allemaal voor over om terug te keren in Amsterdam.

Ik werd daar in aanraking gebracht met de echte bouwwereld, die zo weinig studenten op bouwkunde kennen. Bouwheer Streefkerk beargumenteert met 'gehaktdag, dus half-om-half', de projectarchitecten showen vol trots materiaalmonsters en er wordt maar doorgeouwehoerd over de precieze positie van een bepaalde deur. De aannemer gaat natuurlijk niet doen wat er uitgetekend is. En in de wandelgangen aan de Keizersgracht praat Heringa bij met Frits van Dongen én Pi de Bruin. Gelukkig brengt de bouw zekerheid: hij leeft, zweet, sputtert, schreeuwt, tiert, gaat door en last but not least loopt uit. Moest ik niet begin oktober mijn conclusies klaar hebben? Moest ik dan misschien ook docenten en studenten hebben om mee te testen? Goed punt. Het adviesrapport ligt na het kerstreces op de deurmat van de bouwheer.

De rol die ik in dit bovenstaande boeiende script mocht spelen, was niet uit de verf gekomen zonder de talloze uitblinkende bijrollen en figuranten. Daarom wil ik hier de ruimte nemen de hele crew te bedanken.

De proefkonijnen: de docenten en studenten van het Conservatorium van Amsterdam, die tijd doorbrachten in de testruimtes. Wat had ik zonder jullie moeten beginnen? Lau Nijs voor het eeuwige enthousiasme. Peter Heringa voor mijn comeback in de hoofdstad en het aanbieden van een baan. Peter van Swieten als ideale wissel voor die principiële Amsterdammer. Karel Volters, net als Andrew Borgart en Ernst Janssen Groesbeek voor het op tijd inleveren van cijfers. Mijn ouders voor de investering in mijn studie en hun grenzeloze vertrouwen (F7). Chiel 'dat is een oxymoron' Knigge voor het altijd klaarstaan, mét mening (F7). Maryn Conen voor het nuttige MSN'en over logaritmische functies. Giel Spee voor het Msc 3 onderzoek. Judith van Vliet voor de kennis over hersenhelften en het rondbrengen van uitnodigingen. De gebroeders Knigge voor het mogen gebruiken van de Panda F1000. Martine Poolman voor de tips voor de enquête. De respondenten voor het invullen. Sabine, Beranek, Meyer, Barron, Kutruff, Newell, Howard, Angus, Cox, D'Antonio en anderen voor het voorwerk van mijn afstuderen. Diemer de Vries voor het schrijven van het dictaat over ruimteakoestiek en zijn kennis over elektro-akoestiek. Aart Muizer voor het rondleiden in het Rotterdams Conservatorium. Jan Wirken voor het rondleiden in Tilburg. Edwin Uytenbroek bij Mekelweg 10. Jos Beek, Ruud van Dijk, Bert Streefkerk en Hans van Asperen voor het accorderen van de bouw van de testruimtes. Elisabeth Groot voor haar opgewektheid. Ludo Wiegerinck voor het onmogelijke roosteren. Bram Strijbis voor het regelen van studenten. Marc de Graaf voor die praktische trapleer. De receptionistes voor hun kacheltje. De conciërges voor hun humeur. Peter Prommel voor het bezoek aan Detmold. Erik van Lier en Albert Beltman voor hun enthousiasme als eerste proefkonijnen. Jan Oosthof voor het halen van 121 dB(A). Respect! De architecten voor het ontwerpen van onhandelbare panelen. De aannemer voor het aanbrengen van de onjuiste folie. De elektricien, die de armaturen de tweede keer met nog meer liefde ophing. Halit 'wij zijn van Peutz, we willen er door' Kiliç voor het sjouwen van panelen en het kapot prikken van ballonnen. Theo Scheers en Remco Allan voor de metingen in Mook. Claudia Wittekoek voor het taalkundig corrigeren van het adviesrapport. En ten slotte, de analoge concurrent van Google (Scholar): de bibliotheek van de TU Delft voor de oneindige bron aan informatie.

Zonder jullie had ik niet veel meer over ruimteakoestiek geweten dan op 25 oktober 1983. Nu weet ik dat een nagalmtijd van 0,7 seconde voor de woonkamer van mijn ouderlijk huis veel te lang is. Misschien kunnen mijn ouders eens wat breedbandabsorptiepanelen ophangen, want zo kan ik daar geen trompet spelen.

Marten Valk  
Delft, januari 2006

## Symbolenlijst

$a$	constante in $\log RT = a \log V + b$
$A$	de totale absorptie in de ruimte [ $\text{m}^2$ ]
$b$	constante in $\log RT = a \log V + b$
$c$	voortplantingsnelheid van het geluid [ $\text{m/s}$ ]
$f$	frequentie [Hz]
$G$	luidheid [dB]
$MFP$	Mean Free Path [m]
$n$	aantal panelen
$p$	constante in $RT = p \log V + q$
$q$	constante in $RT = p \log V + q$
$Q$	de richtingsgevoeligheid van de bron
$r$	afstand tussen bron en ontvanger [m]
$r$	reflectiecoëfficient
$RT$	nagalmtijd [s]
$S$	het wandoppervlak [ $\text{m}^2$ ]
$V$	volume van de ruimte [ $\text{m}^3$ ]
$x$	vloeroppervlak [ $\text{m}^2$ ]
$y$	hoeveelheid reeds aanwezige absorptie [ $\text{m}^2$ ]
$\alpha$	absorptiecoëfficient
$\lambda$	golflengte [m]



# 1. Inleiding

Het Conservatorium van Amsterdam gaat vanwege capaciteitsproblemen nieuwbouw plegen op kavel 5 van het Oosterdokseiland te Amsterdam. Frits van Dongen van de Architecten Cie heeft het gebouw ontworpen. Bureau Peutz verzorgt het akoestisch advies. Het conservatorium is van mening dat in een eerder uitgebracht advies van Peutz erg veel absorptie voor de leslokalen en studieruimtes van de nieuwbouw wordt voorgeschreven. Met de bij de bouw betrokken partijen is besloten om hier verdergaand onderzoek naar te verrichten. Dit wordt door een bouwkunde-student van de TU Delft als afstudeeronderzoek uitgevoerd. Voor de student vormt dit onderzoek de afronding van de masteropleiding Bouwkunde aan de TU Delft. Met het succesvol afronden van dit onderzoek, zal de auteur afstuderen en door het leven gaan als ingenieur.

Het eerder uitgebrachte advies is gebaseerd op lijsten met standaardwaarden. Door onderzoek te verrichten met de gebruikers van het betreffende project, kan een advies uitgebracht worden dat beter aansluit op de wensen van de gebruikers en dat op een sterker fundament rust. Om de hoge kwaliteit van de akoestiek, die het Conservatorium van Amsterdam nastreeft, te bewerkstelligen, is een standaardoplossing geen optie.

De probleemstelling van dit onderzoek is als volgt: *Hoe is de akoestische kwaliteit van muziekleslokalen en studieruimtes voor het nieuwe Conservatorium van Amsterdam het beste door middel van een aanpasbare akoestiek te optimaliseren?* Door het bezoeken van referentieprojecten en het bestuderen van literatuur wordt gezocht naar kennis over akoestische ingrepen in muziekleslokalen. In het onderzoek wordt stilgestaan bij variabele akoestiek. Vinden docenten en studenten het nodig om de akoestiek in een ruimte aan te kunnen passen? Welke systemen komen hiervoor in aanmerking en wat zijn de alternatieven?

Het musiceren kent een sterke subjectieve basis. Pionier Leo Beranek en zijn volgelingen hebben hier veel onderzoek naar gedaan. De onderzoeken zijn echter bijna allemaal gericht op concertzalen, waardoor over kleine muziekruimtes weinig bekend is over de subjectieve ervaring van mensen. Voor het conservatorium is het de vraag hoe subjectieve ervaringen van musici omgezet moeten worden naar objectieve hoeveelheden absorptiemateriaal. Er wordt zowel vanuit de exacte wetenschap als vanuit de muziek naar dit probleem gekeken. Door stil te staan bij de werking van muziekinstrumenten, het experimenteren in de gebouwde testruimtes en de discussie aan te gaan met docenten en studenten van het CvA, is onderzoek verricht naar de eisen die gesteld worden aan leslokalen en studieruimtes.

De breedbandabsorptiepanelen, die toegepast zullen worden voor de bouw van het nieuwe CvA, zijn doorgemeten. Samen met de rol die de inrichting in een ruimte op de akoestiek speelt, vormen zij een belangrijke basis voor het uitgebrachte advies.

Met de opgedane kennis is een model ontwikkeld waarmee de gewenste akoestiek voor verschillende soorten instrumenten te beschrijven is. Dit model is een goed hulpmiddel waarmee de akoestiek van de leslokalen en studieruimtes voor de nieuwbouw van het Conservatorium van Amsterdam geoptimaliseerd kan worden. Het model werkt met een differentiatie in instrumentgroepen, die in de standaardlijsten ontbrak. Omdat de tijd en middelen voor dit onderzoek beperkt waren, is verdergaand onderzoek ten behoeve van een algemeen toepasbaar model niet verricht. Al kan het model wel een goede indicatie geven voor het ontwerpen van een gewenste ruimteakoestiek voor verschillende instrumenten. Voor architecten wordt tevens uiteengezet hoe op een andere manier met akoestische voorzieningen om kan worden gegaan dan ze zo ver mogelijk in de hoek van een ruimte weg te stoppen.

Dit verslag is in eerste instantie geschreven voor de direct betrokken partijen van het afstudeerproject: de mentoren uit de afstudeercommissie, de stagebegeleider en de directie van het CvA. Om het ook voor architecten en andere geïnteresseerden leesbaar te maken, is er gekozen voor een luchtige schrijfstijl die de vaak ingewikkelde akoestiek inzichtelijk probeert te maken. In hoofdstuk 2 zal eerst een inleiding gegeven worden over ruimteakoestiek in het algemeen. Vervolgens zal in hoofdstuk 3 verder ingegaan worden op de gebruikte absorptiepanelen. In

hoofdstuk 4 worden de akoestische parameters *nagalmtijd* en *luidheid* besproken aan de hand van de gebouwde testruimtes. In hoofdstuk 5 zal aandacht zijn voor de fysische eigenschappen van instrumenten en welke ruimtelijke aspecten van invloed zijn op het musiceren. Het deelonderzoek aanpasbare en variabele akoestiek zal toegelicht worden in hoofdstuk 6. In hoofdstuk 7 zal verder ingegaan worden op de subjectieve ervaring van de ruimteakoestiek: de psychoakoestiek. De plaatsing van dit onderzoek binnen het bouwproces van het Conservatorium van Amsterdam wordt toegelicht in hoofdstuk 8. In hoofdstuk 9 worden de bezochte referentieprojecten en de oude methode van adviseren voor leslokalen besproken. In hoofdstuk 10 is er aandacht voor de opzet, de uitvoering en de resultaten van de testen. Vervolgens zijn deze bevindingen in hoofdstuk 11 uitgewerkt tot een advies met het opgestelde model. Het inpassen van akoestische kennis over, en ingrepen met onder andere variabele akoestiek, wordt als hulpmiddel voor architecten, beschreven in hoofdstuk 12. In hoofdstuk 13 wordt teruggeblikt op het proces van het afstuderen. In hoofdstuk 14 komen ten slotte de aanbevelingen aan bod.

Het leerplan, dat aan het begin van het afstuderen is opgesteld, is te vinden in bijlage A. Als men enkel geïnteresseerd is in het advies voor het conservatorium, dan wordt aangeraden het rapport in bijlage E te lezen. In de bijlage zijn tevens de gebruikte testformulieren te vinden. De meetresultaten zijn gebundeld in een ordner en eventueel in te zien bij de auteur. Samenvattingen van de gesprekken met de docenten en de beoordelingen van verschillende testvarianten worden behandeld in hoofdstuk 10.



## 2. De wereld van de ruimteakoestiek

*Als men zich in een ruimte begeeft, is het van belang dat deze comfortabel aanvoelt. Dat geldt zowel voor de luchtkwaliteit, de temperatuur, de daglichttoetreding als voor de akoestiek. Voor ruimtes waar muziekinstrumenten worden bespeeld is de kwaliteit van de akoestiek van groot belang. In dit hoofdstuk zal na een inleiding over bouwfysica ingegaan worden op de werking van geluid. Vervolgens zal bekeken worden welke ruimtelijke aspecten van invloed zijn op de akoestiek en hoe de akoestiek met parameters te beschrijven is. Ten slotte wordt er stil gestaan bij de zaken die inwerken op de akoestiek voor muziekr ruimtes en hoe deze beïnvloed kunnen worden.*

### 2.1 Bouwfysica: de plaats van de ruimteakoestiek

Bouwfysica is het raakvlak van natuurkunde en bouwkunde. Van der Linden heeft opgesomd welke natuurkundige verschijnselen daarop van invloed zijn:<sup>1</sup>

- de behaaglijkheid in de gebouwde omgeving in de meest algemene zin;
- de energiehuishouding;
- de bewoonbaarheid van gebouwen uit gezondheidstechnisch oogpunt;
- de duurzaamheid van gebouwen (investerings- en onderhoudskosten).

Deze verschijnselen kunnen grofweg verdeeld worden in:

- warmte,
- vocht,
- luchttransport,
- geluid,
- licht.

Mensen hebben constant te maken met deze bouwfysische aspecten. Over het algemeen kan gesteld worden dat men een ruimte comfortabel vindt, als men bij bezigheden niet gehinderd wordt door een van de bovenstaande punten. In de praktijk komt het er op neer, dat als je niet merkt dat er *warmte* is, de temperatuur zich in het comfortabele gebied bevindt. Als het niet te donker is en er niet te grote contrasten zijn, zal het *licht* zich tevens in dit comfortabele gebied bevinden.

Bij geluid en, voor dit onderzoek in het bijzonder, de akoestiek, is het dus van belang dat de musici niet gestoord worden door comforttechnische aspecten bij het bespelen van hun instrument. Maar deze ervaring van de ruimteakoestiek staat niet op zich. Als het luchttransport of de luchtvochtigheid in de ruimte zich niet in het comfortabele gebied bevindt, zal dat doorwerken op het ervaren van de ruimteakoestiek. Ook al is deze zelf optimaal.

Een ander punt is dat dit comfortabele gebied niet vastligt. De grenzen van dit gebied verschuiven onder invloed van bezigheid, stemming en gewenning. Als men veel lichamelijke activiteiten verricht heeft men een voorkeur voor een lagere temperatuur dan wanneer men in een stoel een verslag zit te lezen. Als iemand opgewekt is, zal hij minder snel gaan klagen over de temperatuur dan wanneer hij chagrijnig is. Als men gewend is in een koude ruimte te verblijven, zal men daar minder hinder van ondervinden dan indien men daar niet aan gewend is. De ruimte zal minder oncomfortabel beoordeeld worden.

Vaak zullen mensen trachten hun onbehagen zelf op te lossen. In de te koude situatie zal men een trui aantrekken of de verwarming hoger zetten. Als men een ruimte te muf vindt, zal men een raam openzetten. Deze aanpasbaarheid van het comfort is voor mensen van groot belang. Als zij geen invloed kunnen uitoefenen op het comfort, zal het behaaglijke gebied verkleind worden.

### 2.1.1 De ruimteakoestiek

De bouwakoestiek is onderdeel van de bouwfysica. Akoestiek heeft te maken met de productie, het controleren, de transmissie, het ontvangen en de effecten van geluid. Subdisciplines van de akoestiek zijn spraakverstaanbaarheid, ruimteakoestiek, omgevingslawaai, trillingen in voertuigen, trillingen in de grond, muziek-akoestiek, maar ook bijvoorbeeld communicatie van zeezoogdieren en bio-akoestiek.<sup>2</sup>

De ruimteakoestiek wordt vaak aangeduid met zaalakoestiek. Naar het optimaliseren van de akoestiek in zalen is dan ook veel onderzoek gedaan. De akoestische eisen die aan concertzalen worden gesteld zijn hoger dan die aan de ruimteakoestiek van leslokalen en studieruimtes. In figuur 2.1 loopt de benodigde akoestische kwaliteit van links naar rechts op. In ruimtes waar men niet lang verblijft, is de akoestische kwaliteit minder van belang, en in de ontspannen thuissituatie zal men zich minder snel storen aan een slechte akoestiek dan in de werksituatie, waar meer gepresteerd moet worden of gewerkt wordt bij hoge geluidsniveaus. Als kennis overgedragen wordt, stelt dit hoge eisen aan de spraakverstaanbaarheid. Muziekleslokalen stellen nog hogere eisen aan de ruimteakoestiek dan gewone leslokalen. Dit heeft vooral te maken met het verschil tussen muziek en spraak. Tenslotte wordt er in concertzalen en geluidstudio's heel veel aandacht besteed aan een optimale akoestiek.

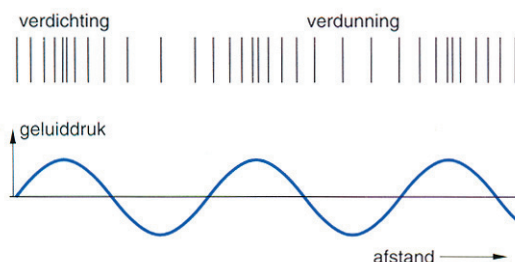
**Figuur 2.1.** Belang van akoestische kwaliteit, oplopend van onbelangrijk (links) naar zeer van belang (rechts).

<b>tijdelijk:</b> berging, stationshal	<b>verblijf:</b> woonkamer, wachtkamer	<b>werk:</b> kantoorvertrek fabriekshal	<b>didactisch:</b> klaslokaal, collegezaal	<b>muziek(les):</b> muziekleslokaal, studieruimte	<b>uitvoerend (muziek):</b> concertzaal, oornamestudio
--	--	---	--	---	--

### 2.2 De werking van geluid

Geluid is energie in de vorm van trillingen. Lage tonen kan men letterlijk voelen. Een geluidsbron brengt lucht aan het trillen. Deze trillingen gaan als geluidsgolven door de ruimte om vervolgens door het menselijk oor te worden opgepikt. Dit geluid wordt tenslotte door onze hersenen verwerkt.

Geluid plant zich voort met longitudinale golfbewegingen. Dat zijn golfbewegingen in de richting van de voortplanting. Dit uit zich in verdunningen en verdichtingen van de luchtdruk. De druk van geluid is erg klein ten opzichte van de atmosferische druk. Het drukverschil bij spraak is ongeveer 0,1 Pa tegen een atmosferische druk van 105 Pa.



**Figuur 2.2.** Voortplanting van een geluidsgolf in de lucht. (Van der Linden, 1996)

Omdat ons gehoor heel gevoelig is en het bereik van het hoorbare gebied erg groot, wordt er in de akoestiek gewerkt met een logaritmische schaal voor de geluidsdruk. Deze wordt uitgedrukt in dB. In tabel 2.1 is voor de gehoorrens, voor spraak en voor de pijngrens te zien wat de geluidsdruk [Pa] en het bijbehorende geluidsniveau [dB] is.

	geluidsdruk [Pa]	geluidsniveau [dB]
Gehoorgrens	$2 \times 10^{-5}$	0
Gem. spraak op 1 meter	$4 \times 10^{-2}$	66
Pijngrens	$2 \times 10^{+2}$	134
Negatief is mogelijk	$2 \times 10^{-6}$	-20

**Tabel 2.1.** Logaritmische schaal van de geluidsdruk. (Nijs, 2002)

Geluidstrillingen hebben naast de geluidsdruk (amplitude) een frequentie (periode). De frequentie is het aantal trillingen per seconde en wordt uitgedrukt in Hertz [Hz]. De frequentie is afhankelijk van de voortplantingssnelheid ( $c$ ) en de golflengte ( $\lambda$ ) van het geluid. De golflengte is de afstand tussen twee verdichtingen uit figuur 2.2. Tussen de frequentie [Hz], de voortplantingssnelheid [m/s] en de golflengte [m] bestaat het volgende verband:

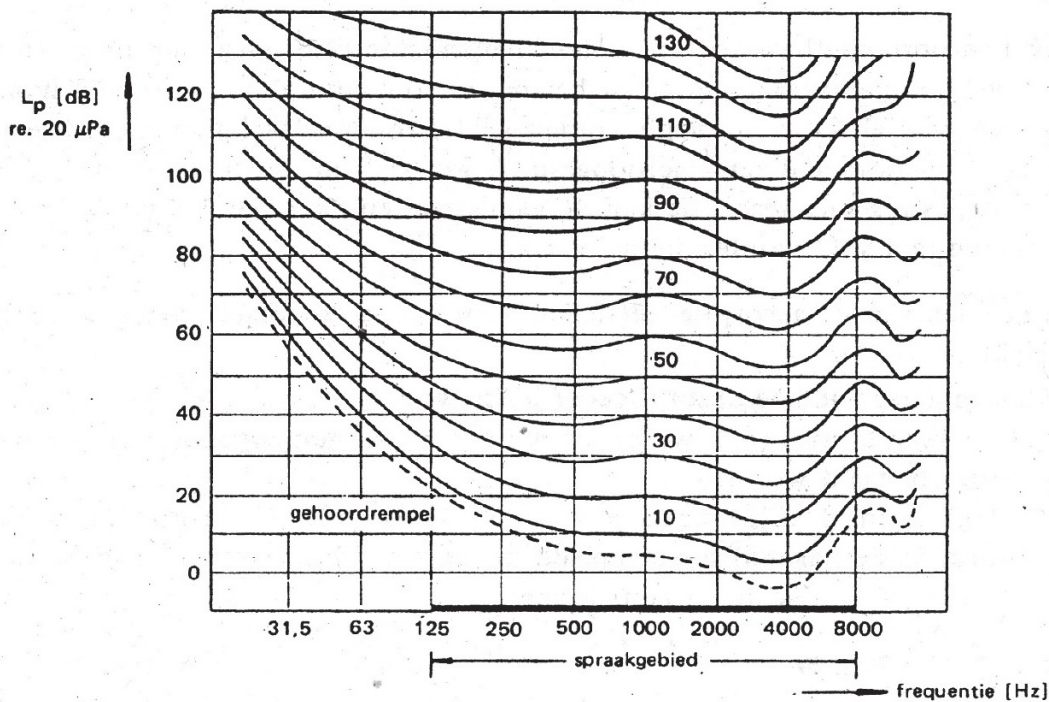
$$c = f * \lambda \quad [2.1]$$

Een toon van 500 Hz heeft in lucht (met een voortplantingssnelheid van 340 m/s) een golflengte van 0,68 meter. Een piano heeft ongeveer een bereik van 25 – 4000 Hz. Dat betekent dat men hier te maken heeft met golflengten van grondtonen van 8,5 centimeter tot 13,6 meter.

Net als in de muziek wordt in de akoestiek gesproken over octaven. Een octaaf is een verdubbeling van het aantal trillingen per seconde. In de muziek is een octaaf opgedeeld in drie grote tertsen. Een terts is op te delen in twee hele of vier halve tonen. Een octaaf is zo op te delen in twaalf halve tonen, die allemaal een toonsoort vormen.

In de akoestiek werkt men met tertsen- en octaafbanden. Hiermee wordt het gebied van frequenties rondom de genoemde frequentie bedoeld. Zo loopt de octaafband van 1000 Hz van 700 Hz tot 1400 Hz en de tertsband van 500 Hz van 445 Hz tot 560 Hz.

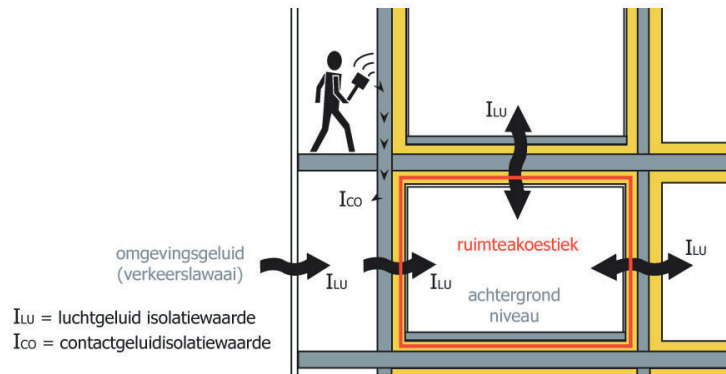
Ons oor is niet voor alle frequenties even gevoelig. Dit betekent dat een toon van 63 Hz met een geluidsterkte van 70 dB niet even luid ervaren wordt als een toon van 1000 Hz met dezelfde sterkte. In figuur 2.3 worden zogenaamde isofonen weergegeven. Deze geven aan hoe luid een toon ervaren wordt ten opzichte van de luidheid bij 1000 Hz. Om voor ons oor de toon van 63 Hz even luid te laten klinken als de toon van 1000 Hz, zal deze in werkelijkheid 83 dB moeten zijn. Om de subjectieve geluidswaardering van ons oor toch in één grootte te vangen, maakt men gebruik van zogenaamde *gewogen niveaus*. De dB(A)-schaal wordt het meest gebruikt. Deze correspondeert met een oorgevoeligheid van 40 foon.



**Figuur 2.3.** Isofonen.  
(Robinson en Dadson, 1956)

## 2.3 Inleiding ruimteakoestiek

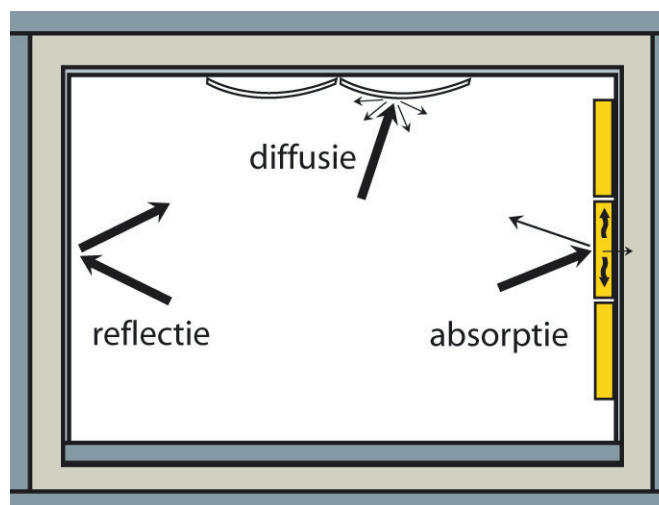
Dit onderzoek richt zich op de ruimteakoestiek. Om comfortabel muziek te kunnen maken is het van belang dat het achtergrondniveau laag is. Hiervoor is naast een goede contactgeluidsisolatie ook een goede luchtgeluidsisolatie nodig. In figuur 2.4 wordt de omkadering van de ruimteakoestiek getoond. In deze paragraaf zal behandeld worden hoe de ruimteakoestiek is te beschrijven en welke elementen daarop van invloed zijn.



**Figuur 2.4.** Omkadering ruimteakoestiek.

De ruimteakoestiek is de eigenschap van een ruimte met betrekking tot de voortplanting en verspreiding van geluid. Het geluid dat we horen is een combinatie van het brongeluid, de omgeving en de posities van de bron en de ontvanger. Terwijl in het vrije veld hoofdzakelijk sprake is van direct geluid, hebben in een ruimte reflecties van wanden, vloer en plafond invloed op het hoorbare geluid. De hoeveelheid, het tijdstip en de richting van de reflecties kleuren het geluid. Omdat er veel reflecties zijn en deze niet afzonderlijk te horen zijn, worden ze waargenomen als galm. De eigenschappen als grootte, materialisering en verhoudingen van een ruimte zijn van invloed op de reflectiepatronen en de ervaring van galm.

De twee belangrijkste objectieve parameters waarmee de ruimteakoestiek beschreven wordt, zijn de *nagalmtijd* en de *luidheid*. Deze zijn beide afhankelijk van de hoeveelheid absorptie in de ruimte. Geluid dat op een vlak valt, kan naast geabsorbeerd ook diffuus gereflecteerd worden. In figuur 2.5 is in schema weergegeven hoe ruimtelijke elementen kunnen reageren op opvallende reflecties. In het vervolg van deze paragraaf zal eerst de definitie van de nagalmtijd en de luidheid besproken worden, om vervolgens de werking van absorptie en diffusie toe te lichten. Ten slotte zal stilgestaan worden bij staande golven, die in een ruimte kunnen ontstaan.



**Figuur 2.5.** Reflectie, diffusie en absorptie.

### 2.3.1 De nagalmtijd

Wallace Clement Sabine werd in 1895 gevraagd om het probleem van de overdosis galm in het auditorium van het Fogg Art Museum van de Universiteit van Harvard op te lossen. Hij wist de *nagalmtijd* door het toevoegen van 550 kussens van 5,5 seconde terug te brengen naar 1 seconde. Om de nagalmtijd te meten, gebruikte hij een orgelpijp op de frequentie van 512 Hz, die ongeveer 60 dB boven het achtergrondruisniveau uitkwam. De tijd die in Sabines experiment nodig was voor de geluidsafname van deze 60 dB, is nu bekend als de nagalmtijd.<sup>3</sup> In de loop der jaren is deze preciezer gedefinieerd:

$$RT[s] = \frac{54,3 V}{c A} = \frac{0,161 V}{A} \quad [2.2]$$

met:

$V$  = het volume van de ruimte [ $m^3$ ]

$c$  = de voortplantingssnelheid van het geluid [ $m/s$ ]

$A$  = de totale absorptie in de ruimte [ $m^2$ ]

De nagalmtijd wordt gebruikt om de hoeveelheid galm in een ruimte te beschrijven. Hoe langer de nagalmtijd is, hoe langer het duurt voordat een toon uitgestorven is. De nagalmtijd is afhankelijk van het volume. Door absorberend materiaal aan een ruimte toe te voegen, zal de nagalmtijd afnemen.

### 2.3.2 De luidheid

Met de  $G_{(\text{strength})}$  wordt de luidheid aangeduid. Deze kan als volgt berekend worden:

$$G(r) = 10 \log \left( \frac{Q}{4 \pi r^2} + \frac{4(1-a)}{a S} \right) - 10 \log \left( \frac{1}{4 \pi 10^2} \right) \quad [2.3]$$

met:

$Q$  = richtingsgevoeligheid van de bron

$r$  = afstand tussen de bron en ontvanger [ $m$ ]

$a$  = gemiddelde absorptiecoëfficiënt van de wanden

$S$  = het wandoppervlak [ $m^2$ ]

Voor de meeste posities in een ruimte kan de eerste term binnen de haakjes verwaarloosd worden. Waardoor [2.3] omgeschreven kan worden naar het volgende:

$$G = 31 + 10 \log \left( \frac{4(1-a)}{a S} \right) \quad [2.4]$$

De luidheid is net als de nagalmtijd afhankelijk van het volume van de ruimte en de hoeveelheid aanwezige absorptie. In een kleine ruimte heeft de geluidsenergie minder volume om zich over te verspreiden dan in een grote ruimte. Het ervaren luidheidsniveau zal daarom in de kleine ruimte hoger liggen. Een groter volume betekent meer wandoppervlak waardoor het tweede gedeelte van de formule sterker negatief wordt en de luidheid zal afnemen.

### 2.3.3 Absorptie

Absorptie is het opnemen van geluidsenergie door een materiaal. Deze trillingsenergie wordt vervolgens omgezet in warmte. Als geluid op een constructie valt, wordt een gedeelte gereflecteerd, een gedeelte geabsorbeerd en een gedeelte wordt doorgelaten. Dit laatste is bij wanden zo gering, dat dit verwaarloosd kan worden. Voor de absorptiecoëfficiënt geldt dan het volgende:

$$a = 1 - r \quad [2.5]$$

met:

$a$  = de absorptiecoëfficiënt

$r$  = de reflectiecoëfficiënt

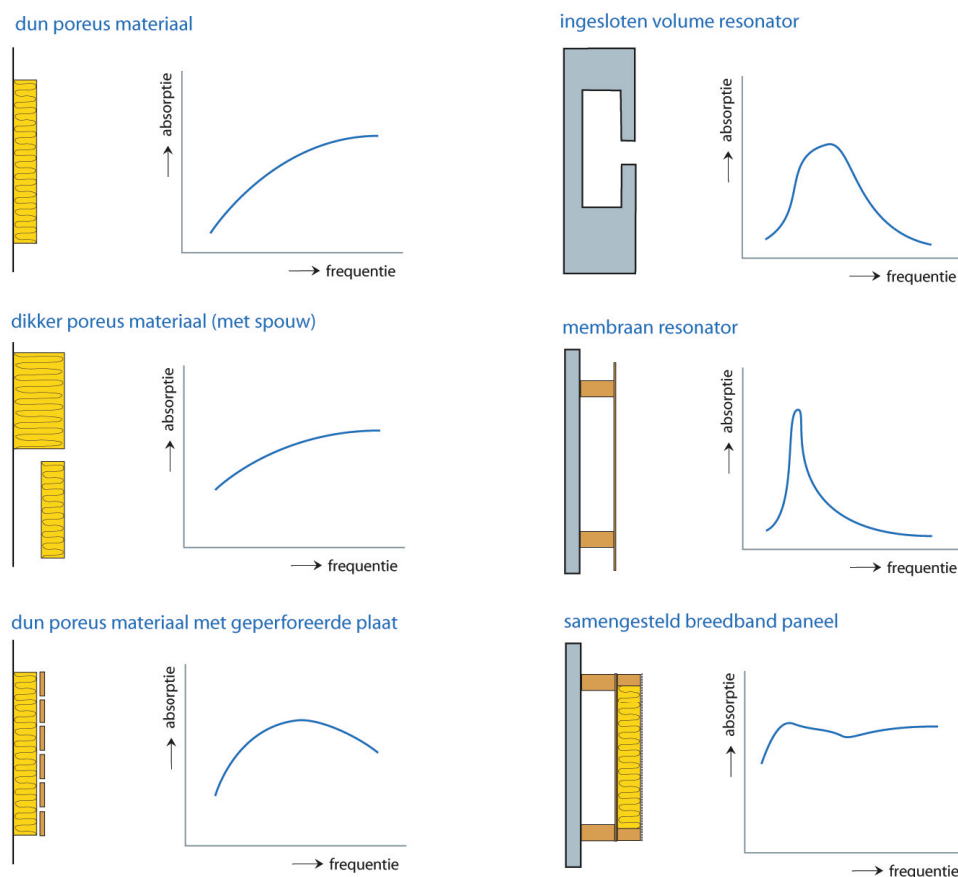
Er zijn twee manieren om absorptie te realiseren:

1. Absorptie door wrijving bij luchtbevinging in poreuze materialen;
2. Absorptie door middel van resonantie.

Wanneer een geluidsgolf een poreus materiaal binnendringt, ondervinden de bewegende luchtdeeltjes wrijving in de poriën van het materiaal. Door deze wrijving wordt geluidsenergie (beweging) omgezet in warmte. Het geluid wordt door het materiaal geabsorbeerd. Om ervoor te zorgen dat het geluid het materiaal kan binnendringen, moet dit zo poreus mogelijk zijn.

Voor goede absorptie van geluidsgolven van een bepaalde frequentie is het van belang dat de dikte van het absorptiemateriaal minimaal  $\frac{1}{4}$  van de golflengte is. Aangezien hoge frequenties kortere golflengten hebben, worden deze door poreus absorptiemateriaal beter geabsorbeerd. Pas als het absorptiemateriaal voldoende dikte heeft, zal het midden- en laagfrequent beter gaan absorberen.

Om 100 Hz goed te absorberen is al een dikte van het absorptiemateriaal nodig van 85 cm. Voor het absorberen van lage tonen kan daarom beter gebruik gemaakt worden van resonatoren. Een resonator kan uitgevoerd worden met een geringere dikte.



**Figuur 2.6.** Verschillende absorptiemethoden.



Een resonator bestaat uit een plaat die aangebracht is op een luchtsponw. Het systeem werkt als een massa-veersysteem, waarbij de plaat de massa is en de lucht erachter als veer fungeert. De eigenfrequenties van deze trillingen liggen in het gebied van 50 – 500 Hz. Daarnaast treden in de plaat nog allerlei buiggolven op, met bepaalde eigenfrequenties. Wanneer de plaat wordt aangestoten door geluidsgolven met zijn eigenfrequenties, dan komt hij gemakkelijk in trilling. Door deze trilling wordt de geluidsenergie in de bevestigingspunten van de plaat omgezet in warmte. De absorptie vindt plaats in een beperkt frequentiegebied, maar heeft wel een hoge absorptiecoëfficiënt. Als de sponw wordt gevuld met absorptiemateriaal, daalt de absorptiecoëfficiënt, maar wordt de bandbreedte van het systeem vergroot.

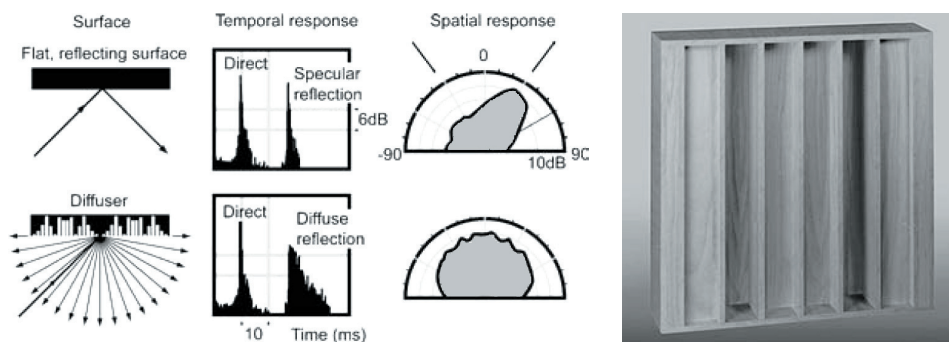
In figuur 2.6 zijn zes absorptiemethoden naast elkaar gezet. De poreuze materialen absorberen vooral hoogfrequent en de resonatoren meer laagfrequent. Met een combinatie van deze twee methoden is een zogenaamd breedbandabsorptiepaneel te maken.

### 2.3.4 Diffusie

Diffusoren worden in ruimtes toegepast om het geluid te verspreiden. Een opvallende reflectie wordt in plaats van *hard* gereflecteerd gelijkmatig verspreid. Het geluidsbeeld in de ruimte zal gekenmerkt worden door zachte egale reflecties in plaats van een aantal sterke reflecties. Deze laatste worden vaak ervaren als ketserig.

Door reliëf op wanden aan te brengen, zal de diffusiteit vergroten. Net als bij absorptie is diffusie afhankelijk van de frequentie van het geluid. Voor laagfrequent is meer diepte nodig, omdat de golflengten langer zijn.

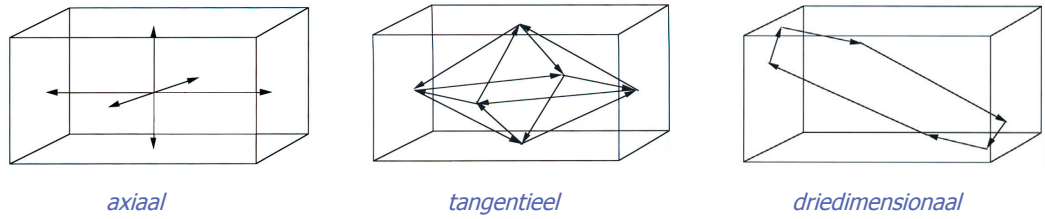
Manfred Schroeder heeft de zogenaamde *Quadratic Residu Diffusors* (QRD) ontwikkelt. Dit zijn geluidsverstrooiers waarvan de werking geheel wiskundig kan worden beschreven. Ze bestaan in principe uit reeksen smalle groeven in de wand, waarvan de diepte onregelmatig, maar periodiek varieert. De verschillende dieptes van de gleuven zorgt voor een faseverschil in de reflecties. In figuur 2.7 wordt de werking van een QRD toegelicht. Hier verspreidt de QRD het geluid in één richting. Tevens bestaan er diffusoren die het geluid in twee richtingen kunnen verspreiden. Afhankelijk van de breedte en de diepte heeft een diffusor een ontwerp frequentie. Hoe smaller de gleuven, des te groter de bandbreedte van het verstrooide geluid zal zijn. Dit vergroot echter wel het wandoppervlak van de diffusor, waardoor de absorptie zal toenemen.



**Figuur 2.7.** Werking van een Quadratic Residu Diffusor. (Cox en D'Antonio, 2003)

### 2.3.5 Resonantiepatronen

Een ruimte kan gezien worden als een driedimensionale resonator, waar bij een groot aantal eigenfrequenties resonanties optreden. Dergelijke resonanties worden staande golven of eigentrillingen genoemd. Tussen twee tegenover elkaar staande wanden kan een staande golf ontstaan. Staande golven worden opgebouwd uit vlakke lopende golven die tussen de wanden heen en weer lopen. In figuur 2.8 is te zien dat er in een driedimensionale ruimte ook twee- en driedimensionale eigentrillingen kunnen voorkomen. Deze zijn opgebouwd uit vlakke lopende golven waarvan de golffronten worden gereflecteerd door twee, respectievelijk drie paren evenwijdige grensvlakken.



$$f_{xyz(\text{oblique})} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{x}{L}\right)^2 + \left(\frac{y}{W}\right)^2 + \left(\frac{z}{H}\right)^2}$$

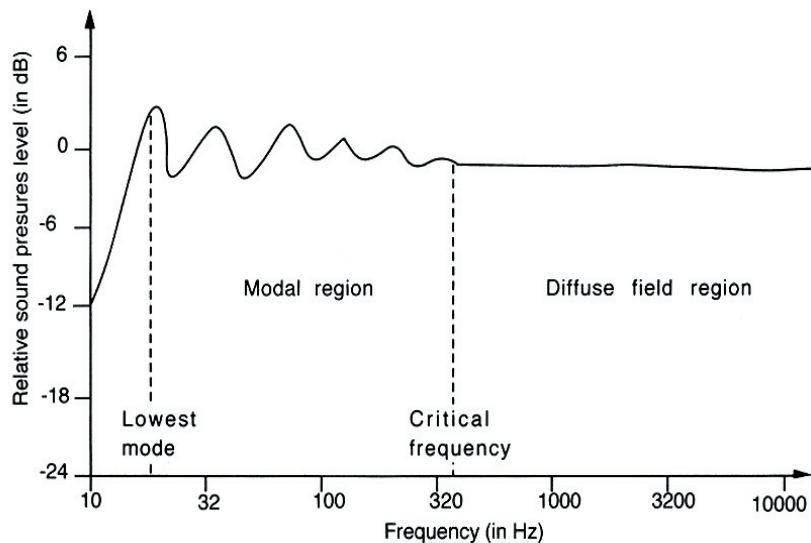
where  $f_{xyz(\text{oblique})}$  = the oblique modal frequencies (in Hz)  
 $x, y, z$  = the number of half wavelengths between the surfaces (1, 2, ...,  $\infty$ )  
and  $L, W, H$  = the distance between the reflecting surfaces (in m)

**Figuur 2.8.** Staande golfpatronen. (Howard en Angus, 1996)

De laagste eigenfrequentie van een ruimte is een staande golf tussen de twee wanden die het verste uit elkaar staan. De frequentie van deze laagste eigentrilling is afhankelijk van de afstand tussen de wanden. Hoe groter de afstand is, hoe lager de frequentie. In een zaal van 50 meter is deze laagste eigentrilling bij 3,4 Hz en in een ruimte van 5 meter is deze laagste eigentrilling bij 34 Hz. Het bereik van het gehoor van een gezond jong mens is ongeveer 20 – 20.000 Hz. De laagste eigentrilling in de zaal zal niet hoorbaar zijn, terwijl die in de ruimte van 5 meter wel in het hoorbare gebied ligt. Oplopend met de frequentie vanaf de laagste eigentrilling zullen de resonantiefrequenties steeds dichter bij elkaar liggen. Vanaf een bepaalde frequentie zijn er zoveel resonantiefrequenties dat het geluid diffuus opgevat mag worden. Dit is voor een voorbeeldruimte in figuur 2.9 in grafiek uitgezet. Deze *kritische frequentie* is als volgt gedefinieerd:

$$f_{\text{kritisch}} = 2102 \sqrt{\left(\frac{RT}{V}\right)} \quad [2.6]$$

Voor een ruimte van 3 bij 4 bij 5 met een nagalmtijd van 0,5 seconde ligt deze frequentie bij 192 Hz. Bij grote zalen ligt ook deze kritische frequentie buiten het hoorbare spectrum. Hoe kleiner de ruimte wordt, des te sterker deze resonantiefrequenties een rol gaan spelen. Als de resonantiefrequenties duidelijk zijn te horen, zal een ruimte als blikkerig en hol klinken. Voor muziekinstrumenten kunnen de resonantiefrequenties een vervelende kleuring van de klank opleveren. Door het toepassen van absorptie en diffusie op de juiste posities in de ruimte, zal het effect van de resonantiefrequenties verminderen.



**Figuur 2.9.** Resonantiepatronen in een voorbeeldruimte. (Howard en Angus, 1996)

Een ander hinderlijk verschijnsel is de flutterecho. Als twee grote evenwijdige reflecterende vlakken tegenover elkaar zijn gepositioneerd, kan het geluid hiertussen meerdere keren heen en weer kaatsen. Dit is duidelijk te horen als er in de ruimte in de handen wordt geklapt. Er is dan een *ringende* naklank te horen. Het toepassen van absorptie en diffusie kan deze flutterecho's voorkomen. Tevens helpt het schuin plaatsen van wanden, zodat de reflecterende vlakken niet meer evenwijdig aan elkaar zijn.

## 2.4 Ruimteakoestiek voor muziek ruimtes in het bijzonder

Op de eerste pagina van *A Musician's Guide to Acoustics* van Murray Campbell en Clive Greated beschrijven zij een denkbeeldig concert waar een buitenaards wezen het vijfde pianoconcert van Beethoven aanhoort. De niet voor muziek gevoelige alien ziet mensen paardenhaar langs metalen draden, die aan houten boxen van verschillende groottes vastzitten, schuren.<sup>4</sup>

Met de kijk vanaf een andere planeet is muziek niet te bevatten. Bij de muziek-akoestiek spelen subjectieve ervaringen als bij geen andere discipline binnen de akoestiek een vooraanstaande rol. Wetenschappers die zich op het terrein van de muziek-akoestiek wagen en zich teveel richten op de objectieve kant, slaan de plank mis. Musici zijn vanuit hun gevoel met hun vak bezig en werken niet als synthesizers die op aanvraag geluiden produceren. Er wordt gepraat over een volle, warme klank en niet over een juiste verhouding tussen de verschillende octaafbanden. Veel termen die musici gebruiken zijn niet klakkeloos te vertalen naar formules. De akoesticus moet daarom ook niet enkel als exacte wetenschapper de wensen van musici willen beschrijven. Er is een aantal punten die in het achterhoofd moeten worden gehouden. In hoofdstuk 5, 9 en 10 zullen deze zaken verder uitgewerkt worden.

Muziek is totaal iets anders dan spraak. Aan muzikale ruimtes worden dan ook andere eisen gesteld. Voor verschillende instrumenten worden verschillende eisen gesteld aan de akoestiek. Over het algemeen zullen musici een voorkeur hebben voor het spelen in een grote ruimte. Hier wordt minder hinder ondervonden van de resonantiepatronen. Tevens kan het geluid zich beter over de ruimte verspreiden, waardoor het geluidsniveau van de over het algemeen luide, instrumenten acceptabeler is. In een grotere ruimte zal de galm voor wat meer levendigheid zorgen, zonder dat er een grote brij van klanken ontstaat. Hoe kleiner een ruimte namelijk is, des te duidelijker aanwezig de hoeveelheid galm is. Een nagalmtijd van een seconde in een ruimte van 20 m<sup>3</sup> wordt heel anders ervaren dan in een ruimte van 1000 m<sup>3</sup>. Een badkamereffect is absoluut funest voor een leslokaal of studieruimte, terwijl eenzelfde nagalmtijd in een grotere ruimte aanvaardbaar kan zijn.

Wat de verschillende voorkeuren voor instrumenten zijn en welke akoestische voorzieningen hieraan kunnen bijdragen, zal de rode draad door dit verslag zijn, die zowel vanaf de kant van de akoesticus als vanaf de kant van musicus bekeken wordt.

### Referenties:

- [1] A. van der Linden e.a., *Bouwfysica* (Spruyt, Van Mantgem & De Goes, Leiden, 1996).
- [2] A. W. Brown and M. Bertsch, *The paradox of musical acoustics: Objectivizing the essentially subjective* (Proceedings of the Conference on Interdisciplinary Musicology (CIM04) Graz/Austria, 15-18 April, 2004)
- [3] M. Egan, *Architectural Acoustics* (McGraw-Hill, 1988)
- [4] M. Campbell and C. Greated, *The Musician's Guide to Musical Acoustics* (Oxford Univ. Press, Oxford, 1987)



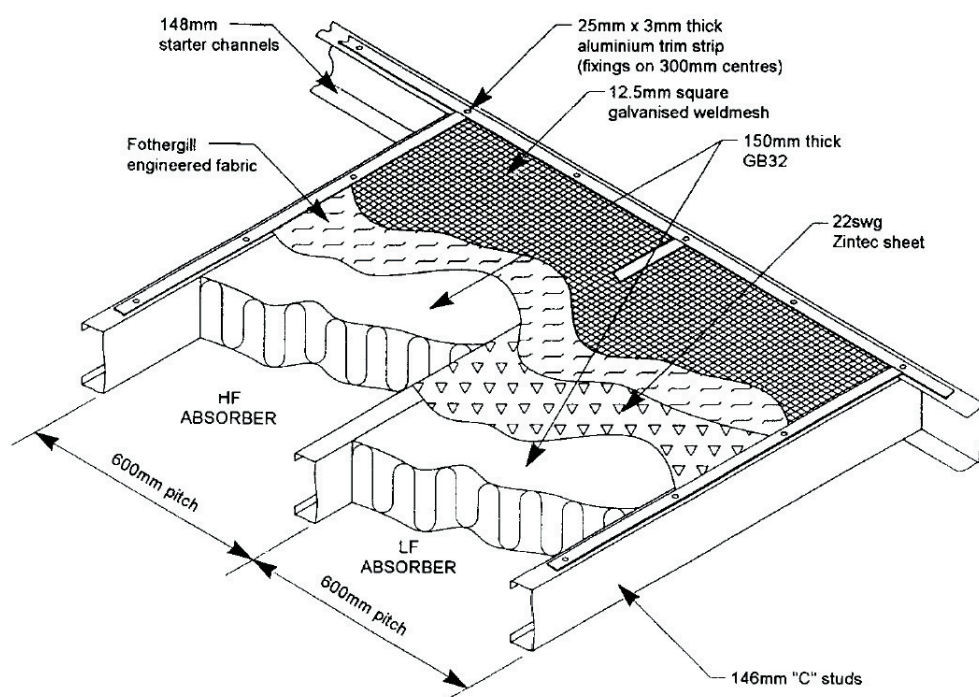
### 3. Het breedbandabsorptiepaneel

*Na de algemene uitleg over ruimteakoestiek zal in dit hoofdstuk verder worden ingegaan op de werking van het breedbandabsorptiepaneel. Het akoestische concept van breedbandabsorptie is door de architecten vertaald naar kussens, die aan de wanden gehangen kunnen worden. De werking van de nagalmkamer, de definitie van de absorptiecoëfficiënt en het testen van de proefpanelen worden hier behandeld.*

#### 3.1 De grammatica van het paneel

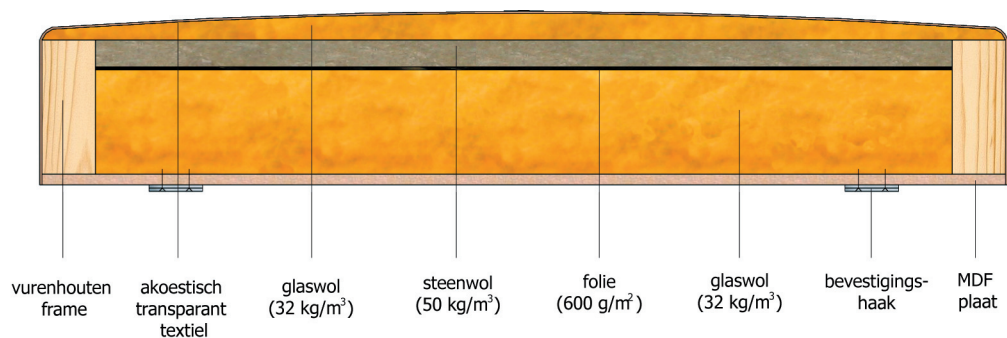
Bij breedbandabsorptiepanelen wordt het opvallende geluid over een brede bandbreedte geabsorbeerd. Zoals in paragraaf 2.3.3 is uitgelegd zijn er twee manieren van absorptie: absorptie door poreuze materialen en absorptie door resonatoren. In het breedbandabsorptiepaneel worden deze gecombineerd. Dit kan op verschillende manieren. Een veel toegepaste manier om middenfrequenties te absorberen en de bandbreedte te vergroten is het toepassen van een geperforeerde plaat voor poreus absorptiemateriaal. In figuur 2.6 wordt de werking schematisch toegelicht. De resonerende werking van de perforaties zorgt voor een goede absorptie in het gebied van de middenfrequenties. De perforatiegraad bepaalt in welk frequentiegebied het paneel het beste zal absorberen.

De BBC deed onderzoek naar een voordelige en effectieve methode van breedbandabsorptie voor de televisiestudio's.<sup>1</sup> Er werd een paneel ontwikkeld, dat te zien is in figuur 3.1, met als basis 150 mm dik glaswol (32 kg/m<sup>3</sup>) dat voor de helft is afgedekt met een staalplaat. Deze staalplaat werkt samen met het aluminiumprofiel en de achterliggende glaswol als resonator om de lage frequenties te absorberen. De andere helft van het paneel pakt juist de midden en hoge frequenties aan, zodat er gemiddeld over de totale bandbreedte redelijk constant geabsorbeerd wordt. Het oppervlak van de staalplaat kan eventueel nog gevarieerd worden. Deze panelen halen over de bandbreedte een gemiddelde absorptiecoëfficiënt van ongeveer 0,7.



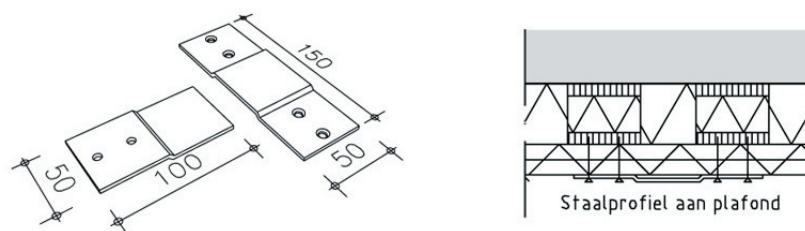
**Figuur 3.1.** Breedband-absorptiepaneel voor BBC studio's. (BBC, 1994)

Voor de nieuwbouw van het Conservatorium van Amsterdam werd ook besloten uit te gaan van breedbandabsorptie. Dit zorgt voor een vlakke nagalmtijdcurve in de ruimtes en vormt een goede basis voor een comfortabel milieu om een muziekinstrument te bespelen. Om zowel hoge als lage tonen te kunnen absorberen, is gekozen voor een combinatie van steen- en glaswol met een resonerende folie. Een soortgelijk principe is toegepast in de Heinken Music Hall. Bij het CvA wordt het principe echter niet als hele wanden uitgevoerd, maar worden losse panelen vervaardigd. Hieronder is de uiteindelijke opbouw van het breedbandabsorptiepaneel voor het CvA te zien. Per onderdeel in figuur 3.2 zal uitgelegd worden wat de functie is.



**Figuur 3.2.** Doorsnede van breedbandabsorptiepaneel van het Conservatorium van Amsterdam.

Het paneel wordt gevormd door een vuren houten frame (50 x 130 mm) op een achterplaat van 9 mm MDF. Op 100 mm afstand van de achterplaat is een kunststoffolie van 600 g/m<sup>2</sup> bevestigd. Deze folie vormt met de erachter gelegen luchtlaag een massa-veer-systeem. Doordat deze luchtlaag opgevuld is met glaswol (32 kg/m<sup>3</sup>) wordt de bandbreedte van de resonator vergroot. Om ook hoog- en midden-frequent een betere absorptiewaarde te krijgen is deze resonator afgedekt met een laag steenwol (50 kg/m<sup>3</sup>). Tevens verhoogt de bovenste glaswollaag (32 kg/m<sup>3</sup>), die aangebracht is om het paneel een bollende vorm te geven, de absorptiewaarde van deze frequenties nog verder. Het akoestisch transparante textiel wordt strak om het paneel heen gespannen, zodat de gebolde vorm ontstaat, en met nietjes aan het frame bevestigd. Aan de achterkant van het paneel zijn haken bevestigd, waarmee het paneel aan de muur gehangen kan worden. Figuur 3.3 toont dit ophangstelsel.



**Figuur 3.3.** Ophangstelsel van panelen voor het Conservatorium van Amsterdam. (De Architecten Cie, 2004)

De grootte van de panelen is 1800 bij 900 mm. Door het vuren houten frame en het MDF als achterplaat zijn de panelen met 30,3 kg nogal zwaar. In paragraaf 12.3 worden alternatieven aan gedragen. Voor het testen met de docenten en studenten is de helft van de panelen als 'half' paneel uitgevoerd. Het gewicht van deze kleine panelen bedraagt 17,7 kg. Daarmee waren deze panelen een stuk beter te hanteren.

Naast de absorberende werking van de panelen dragen zij ook bij aan de diffusie van het geluid in de ruimte. Doordat de panelen met 15 cm redelijk diep zijn, vormen zij een duidelijk reliëf op de wanden en het plafond. Dit zorgt voor een betere verstrooiing van het geluid.

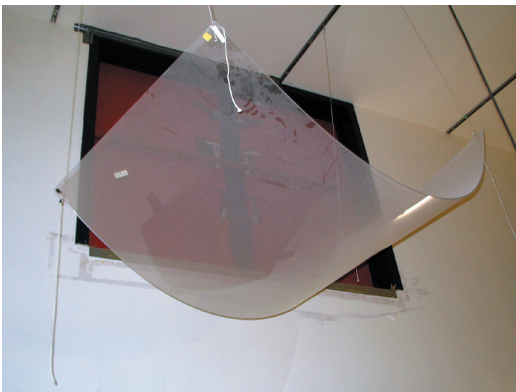


### 3.2 De Nagalmkamer

Het rendement van akoestische elementen kan bepaald worden in een nagalmkamer. Dit is een ruimte waarin, door middel van het schuin plaatsen van wanden en plafond en het toevoegen van extra geluidverstrooiende vlakken, een zo diffuus mogelijk geluidsveld ontstaat. Alle wanden zijn van zeer harde oppervlakken vervaardigd, zodat er in de ruimte nauwelijks absorptie aanwezig is. Op sommige frequenties loopt de nagalmtijd op tot boven de 10 seconden. Iemand is op een paar meter afstand dan ook al niet meer te verstaan. Voor een absorptiemeting van bepaalde elementen wordt de nagalmtijd twee keer gemeten. Eerst wordt de nagalmtijd, over tertsbanden, in de lege kamer vastgesteld. Vervolgens wordt het door te meten materiaal in de ruimte geplaatst en wordt er nogmaals een meting uitgevoerd. Het verschil in nagalmtijd van deze twee metingen kan vervolgens omgerekend worden naar een aantal vierkante meters absorptie. Door het aantal gemeten absorberende vierkante meters te delen door het meetoppervlak, kan de absorptiecoëfficiënt van het element bepaald worden. Dit gebeurt voor de verschillende frequentiebanden. Soms kan deze coëfficiënt hoger worden dan de theoretische grens van 1,0. Dit heeft vaak te maken met zogenaamde randeffecten. In de praktijk is het niet mogelijk dat er op de plek van het reflecterende vlak een drukverdubbeling ontstaat en dit bij het naastliggende absorptievlak niet het geval is. Ook kan de dikte van het element er voor zorgen dat eigenlijk ook de zijkanten meegerekend zouden moeten worden tot absorberend oppervlak.

In ruimtes die minder diffuus zijn dan een nagalmkamer speelt de rol van resonantiepatronen een grotere rol. Door deze patronen worden bepaalde frequenties versterkt. Als hier de metingen met en zonder absorptiemateriaal worden vergeleken en het verschil in nagalmtijd wordt terugerekend naar absorberend oppervlak, komt deze waarde vaak hoger uit dan in de nagalmkamer. Met de juiste positionering van het absorptiemateriaal kunnen de resonantiefrequenties namelijk aangepakt worden, zodat er meer geluidsenergie geabsorbeerd wordt dan alleen het effectief absorberend vermogen van het paneel. Om deze reden kan het afleiden van de hoeveelheid absorptie in praktijksituaties soms beter aan de hand van de luidheid worden gedaan. De gemiddelde absorptiecoëfficiënt zit namelijk zowel in de formule van de nagalmtijd [2.2] als in de formule van de luidheid [2.4]. Ondanks de hogere betrouwbaarheid van de absorptiebepaling aan de hand van de luidheid, moet hierbij met de positionering van de microfoon veel meer rekening gehouden worden. Dit is omdat de luidheid niet door de ruimte constant is en afneemt als de afstand tot de bron wordt vergroot.

Voor deze afstand kan het beste het 'Mean Free Path' aangehouden worden. Het MFP is de gemiddelde vrije-weglengthe-afstand tussen vlakken, rekening houdend met alle mogelijke hoeken van inval.



**Figuur 3.4.** Diffuserend element in de nagalmkamer van Peutz in Mook.

**Figuur 3.5.** Testpanelen in de nagalmkamer.



### 3.3 De effectiviteit van de panelen

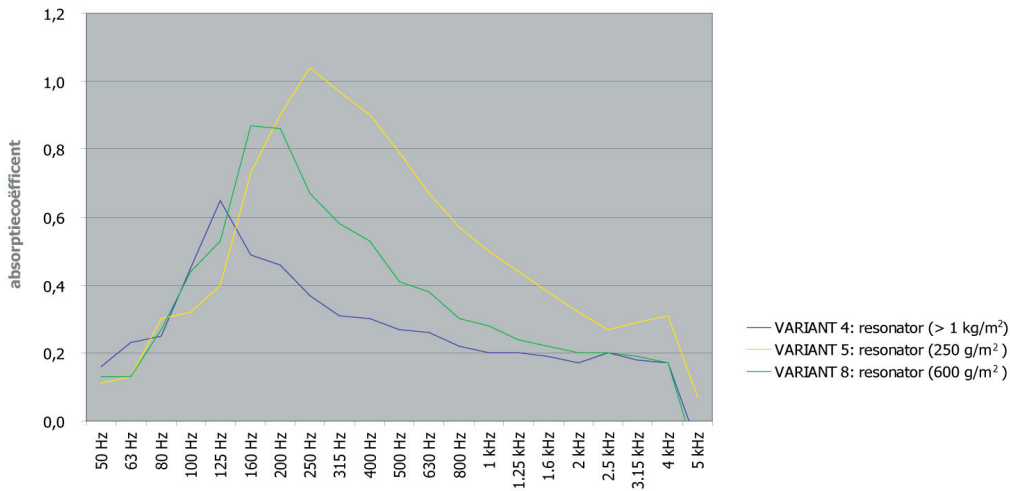
In het eerder uitgebrachte advies is een schatting gemaakt van de effectiviteit van de panelen. Het houten frame is daarbij niet meegerekend tot het effectieve oppervlak. In figuur 3.6 wordt dit aangegeven door het rode kader. Voor de absorptiecoëfficiënt is de effectiviteit geschat op 95%. Uit de metingen bleek later dat er voor de panelen beter uitgegaan kan worden van een effectief oppervlak van 1,62 m<sup>2</sup> (het blauwe kader in figuur 3.6) met een absorptiecoëfficiënt van 1,0. Dit betekent dat de effectiviteit van de panelen in werkelijkheid 25% beter is, dan in eerste instantie was ingeschat.



**Figuur 3.6.** Effectief oppervlak van het breedbandabsorptiepaneel.

Voor een betrouwbare meting in de nagalmkamer is minimaal 10 m<sup>2</sup> materiaal nodig. Maar met minder vierkante meters kan wel een indicatie verkregen worden over de absorptiewaarden. De architecten hadden twee testpanelen laten vervaardigen om te kijken hoe de bolling er uit zou komen te zien. Deze twee testpanelen zijn doorgemeten in de nagalmkamer van Peutz in Mook. De absorptie in het laagfrequente gebied bleek tegen te vallen. Bij de demontage van de panelen bleek dat de folie los was aangebracht in de panelen. Dit verhinderde de resonerende werking van de folie, waardoor de panelen vanaf 500 Hz pas goed hun werk deden.

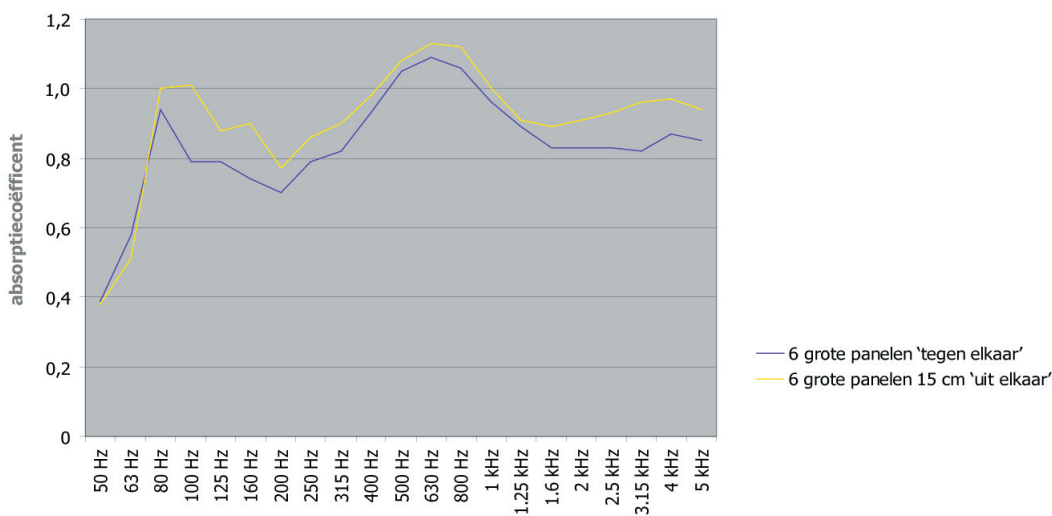
Voordat de 23 grote panelen (1800 x 900 mm) en 47 kleine panelen (900 x 900 mm) voor de testruimtes vervaardigd zouden worden, is eerst een aantal testpanelen vervaardigd. Vooral om te onderzoeken of de resonerende werking van de folie hier wel goed zou zijn. Voor een goede resonerende werking is het van belang, dat de folie het juiste gewicht heeft en goed aan het frame bevestigd is. De eerste testpanelen, die de aannemer afleverde, bleken een te lichte folie (250 g/m<sup>2</sup>) te bevatten, welke tevens vol zat met gaten en niet goed vastgezet was aan het frame van het paneel. Bij de tweede serie testpanelen was de folie met een deklatje aan de constructie bevestigd. Om de massa (de folie) van dit massa-veer-systeem te vergroten was er karton aan toegevoegd. Hierdoor kwam het gewicht van de samenstelling op meer dan een kilo per vierkante meter. Uit voorzorg was voor deze testdag vijverfolie van 600 g/m<sup>2</sup> naar de nagalmkamer in Mook meegebracht. In figuur 3.7 is de invloed van de massa van de resonator te zien. Meer massa verlaagt de piekfrequentie van de resonator, maar ook de effectiviteit. Voor het breedbandpaneel is folie van ongeveer 600 g/m<sup>2</sup> daarom het meest geschikt om uiteindelijk een redelijk vlakke absorptiecoëfficiënt van het element te verkrijgen. Als de folie te licht is zal het breedbandpaneel laagfrequent minder goed absorberen en middenfrequent te veel absorberen.



**Figuur 3.7.** Absorptie door folie met verschillende massa.

Na aanpassing van de folie bleek het paneel te voldoen. Alleen de bovenlaag met glaswol werd iets dunner. Het laatst aangeleverde testpaneel had twee lagen van 40 mm glaswol. Voor de uiteindelijke panelen zou slechts één laag van 40 mm glaswol toegepast worden om zo een vlakke nagalmtijdcurve na te streven.

Voor deze testen werden een aantal keren twee grote panelen aangeleverd met een totaal testoppervlak van 3,2 m<sup>2</sup>. Bij de verschillende varianten zat bij de frequentie van 125 Hz steeds een dal in de nagalmtijdcurve. Dit was te wijten aan het te kleine oppervlak voor een betrouwbare meting. In de metingen met voldoende oppervlak (ongeveer 10 m<sup>2</sup>) van de uiteindelijke panelen bleek dit dal niet aanwezig te zijn. In figuur 3.8 is de absorptiebepaling van de definitieve panelen te zien. Er is een meting gedaan, waarbij de panelen koud tegen elkaar aan lagen en een meting waarbij tussen de panelen 15 cm ruimte was gelaten. Door het randeffect bleken de laatste panelen een betere absorptiecoëfficiënt te hebben. Het was voor deze meting niet mogelijk ook voldoende kleine panelen mee te nemen voor een betrouwbare meting. De vergelijking tussen grote en kleine panelen werd daarom in de twee testruimtes gedaan.



**Figuur 3.8.** Absorptiecoëfficiënt van panelen 'tegen elkaar' en 15 cm 'uit elkaar'.

**Referentie:**

- [1] M. Baird, *A Wideband Absorber For Television Studios* (BBC Research & Development Department, 1994).



## 4. Nagalmtijd en luidheid in de testruimtes

*Met de nagalmtijd en de luidheid kan, in relatie tot het volume van de ruimte, een goede indicatie verkregen worden over de akoestiek. Deze akoestische parameters zijn bij een ieder bekend. 'Wat een droge ruimte' en 'wat klinkt het hier luid' zijn veel gehoorde beoordelingen. In dit hoofdstuk wordt uiteen gezet hoe deze parameters te meten zijn en welke conclusies er uit de meetwaarden kunnen worden getrokken. Naast de metingen in de twee testruimtes, komen de verschillende meetmethoden, de opbouw van de testruimtes, de invloed van de inrichting en de nagalmtijd van de huidige lokalen van het CvA aan bod.*

### 4.1 Het meten van de akoestiek

Met de akoestische parameters nagalmtijd en luidheid is een ruimte goed te beschrijven. Deze parameters kunnen worden gemeten met behulp van een dB-meter. Beide metingen kunnen tegelijkertijd verricht worden. Het is alleen bij de luidheid van belang wat de afstand is tussen de geluidsbron en de ontvanger.

Een dB-meter is uitgerust met een omni-directionale microfoon. Dat wil zeggen dat deze het geluid rondom gelijk opvangt. Het door de microfoon afgegeven signaal kan desgewenst worden gefilterd met bijvoorbeeld een dB(A)-filter, zodat de verhoudingen tussen de verschillende octaafbanden gelijk zijn aan het menselijk gehoor. De output van de decibelmeter wordt vervolgens opgenomen. Hiervoor zijn twee verschillende systemen gebruikt, die hierna worden toegelicht.

#### 4.1.1 De DAT-recorder van Peutz

Bij de metingen die met het systeem van Peutz zijn uitgevoerd, is alleen de nagalmtijd gemeten. Het is mogelijk met dit systeem ook de luidheid te meten, maar dan dient uitgegaan te worden van een constant geluidsniveau van en afstand tot de bron. Hiervoor is, vanwege de beschikbare tijd, niet gekozen.

Om de nagalmtijd te meten is een geluidsbron nodig die over alle te meten frequenties een geluidssignaal produceert dat veel harder is dan het achtergrondniveau. Hiervoor zijn verschillende mogelijkheden: een ruisgenerator, een alarmpistool, maar ook ballonnen. Zou de luidheid meegenomen zijn in de metingen, dan was hiervoor een *constante* ruisbron nodig geweest. Het bleek echter praktischer te meten met ballonnen. Een ballon die kapotgeprik wordt, levert een geluidssignaal op, dat boven de 100 dB ligt. Bij een achtergrondruisniveau van ongeveer 40 dB is de nagalmtijd hieruit goed te bepalen. Het kapotprikken van de ballon wordt via de dB-meter opgenomen op Digital Audio Tape.

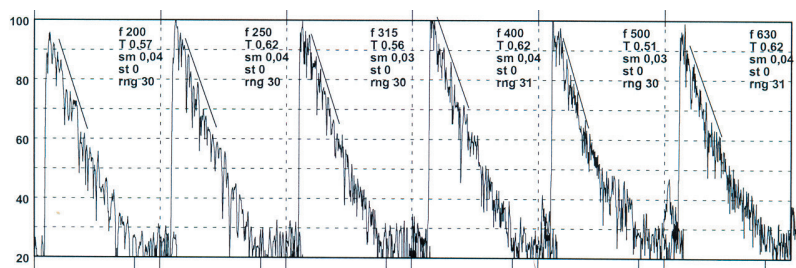


**Figuur 4.1.** Meten met het Peutz-systeem. (Kiliç, 2005)

**Figuur 4.2.** DAT-recorder en dB-meter.

Hoe lang de puls van de ballon nagalmt is afhankelijk van de grootte van de ruimte en van de hoeveelheid aanwezige absorptie. De DAT-opnamen kunnen worden ingelezen in het computerprogramma *Reverb*, dat door Peutz is ontwikkeld. Via de kleinste kwadratenmethode wordt bepaald hoe steil de afname van het geluidsniveau is. Door dit te extrapoleren tot 60 dB kan hieruit per tertsband de nagalmtijd berekend worden. Een voorbeeld van een output van het programma *Reverb* is in figuur 4.3 te zien.

Bij een nagalmtijdmeting in een bepaalde ruimte of situatie, wordt minimaal drie keer een pulsresponsie op DAT opgenomen. De pulsresponsies, waarbij de computer de lijn niet goed langs de pulsresponsies heeft getrokken, worden niet meegenomen bij het middelen van de metingen.

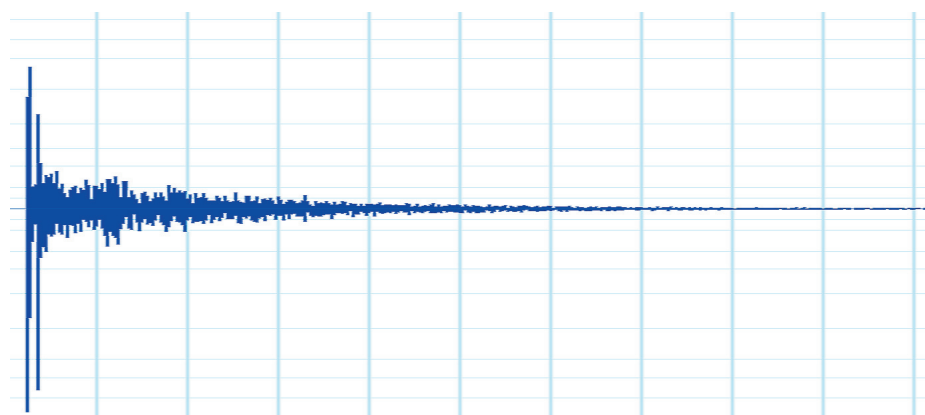


**Figuur 4.3.** Output uit programma *Reverb*.

#### 4.1.2 De laptop van de TU Delft

Op de TU Delft is een meetsysteem ontwikkeld dat naast de nagalmtijd ook de luidheid bepaald. Het systeem bestaat uit twee onderdelen: het genereren van de pulsresponsie en het analyseren hiervan.

Voor het genereren van de pulsresponsie wordt gebruik gemaakt van een speaker die een aantal keren achter elkaar een *logaritmische sweep* uitzendt. Dit signaal wordt opgevangen door een dB-meter en doorgestuurd naar de laptop. In de computer worden de opnames van de sweep met elkaar en het origineel vergeleken om daar een pulsresponsie uit te creëren. Een voorbeeld van een pulsresponsie is te zien in figuur 4.4.



**Figuur 4.4.** Pulsresponsie gemeten in de testruimte.

Deze pulsresponsie wordt omgezet naar een *Schroedercurve*, waar vervolgens per octaaf de nagalmtijd uit bepaald wordt. De officiële nagalmtijd moet worden bepaald in het gebied tussen -5 en -35 dB ten opzichte van het beginniveau. In de praktijk wordt in verband met de onbetrouwbaarheid van bovenstaand gebied, vaak het gebied van -5 tot -25 dB aangehouden. Beide waarden worden in de output van de computer weergegeven, waarbij ook de betrouwbaarheid van de meting wordt aangegeven.

Om de luidheid vast te stellen wordt het verschil tussen het bronniveau en het door de microfoon ontvangen niveau met elkaar vergeleken. Deze wordt ook in octaafbanden aan de output toegevoegd.

Het voordeel van dit systeem is dat, door te werken met een constant bronsignaal, ook de luidheid te meten is. Het nadeel is dat de output slechts in octaafbanden, en niet in tertsbanden, plaatsvindt.





**Figuur 4.5.** TU-meetsysteem in testruimte van het leslokaal.

**Figuur 4.6.** TU-meetsysteem in testruimte van de studieruimteleslokaal.

## 4.2 De twee testruimtes

Om de subjectieve wensen voor de akoestiek van de docenten en de studenten van het Conservatorium van Amsterdam te onderzoeken, zijn twee testruimtes gebouwd. Na het testen worden de subjectieve ervaringen gekoppeld aan objectieve waarden om zo een advies uit te kunnen brengen. Om de objectieve waarden van verschillende opstellingen met de absorptiepanelen in de twee testruimtes te bepalen zijn er nagalmtijdmetingen uitgevoerd. In deze paragraaf wordt de opbouw van de testruimtes beschreven en in het vervolg van het hoofdstuk de verschillende soorten metingen.

Zowel als model voor een muziekluslokaal als voor een studieruimte is een testruimte gebouwd in het huidige gebouw van het CvA aan de Van Baerlestraat. Het muziekluslokaal is gebouwd in de Jan Odézaal (ruimte 101) en de studieruimte in de fietsenstalling van het personeel. In de figuren 4.7 en 4.8 zijn de testruimtes te zien.



**Figuur 4.7.** Testruimte van het muziekluslokaal.

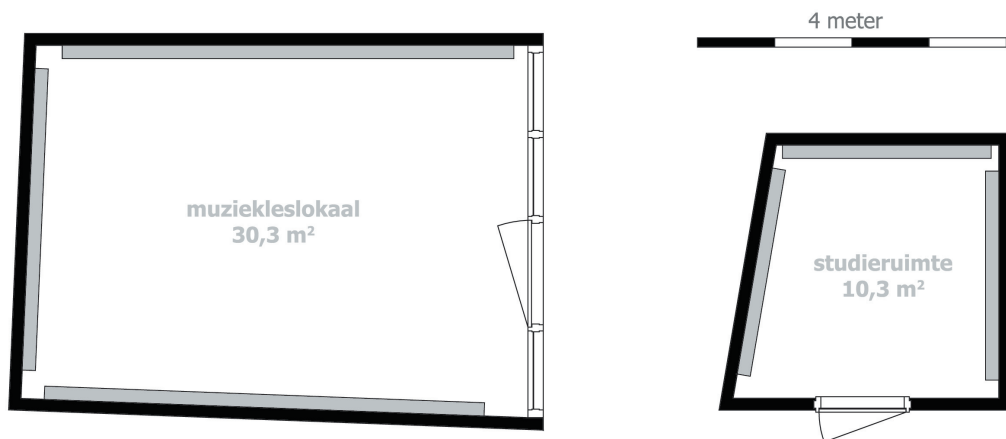
**Figuur 4.8.** Testruimte van studieruimte in de fietsenstalling. (Knigge, 2005)

Bij de bouw van de ruimtes is uitgegaan van de tekeningen voor de nieuwbouw. Dit betekent dat voor de materialisering en de afmetingen van de ruimtes is gestreefd de nieuwbouwsituatie na te bootsen. Als model voor de testruimte van het muziekluslokaal is lokaal 04.26 *lesruimte opera* aangehouden. Omdat het in de Jan Odézaal niet mogelijk was om de totale hoogte en lengte van dit lokaal aan te houden, is het lokaal 6 cm lager en ongeveer 90 centimeter korter uitgevoerd. Deze testruimte is uitgevoerd met een glazen gevel aan een gang met daglicht. Dit om de situatie van de nieuwbouw na te bootsen.

Voor de studieruimte is 09.14 *studieruimte 39* als model gekozen. Omdat deze in een fietsenstalling met nauwelijks daglicht is gebouwd, is hier de gevel aan de gangzijde niet van glas uitgevoerd. Dit zal in de nieuwbouw wel gebeuren.

In figuur 4.9 zijn de plattegronden van de ruimtes te zien. In tabel 4.1 worden de twee ruimtes met elkaar vergeleken wat betreft de eigenschappen, die voor de akoestiek van belang zijn.

De leslokalen en studieruimtes van de nieuwbouw worden uitgevoerd als doos-in-doos-constructie.

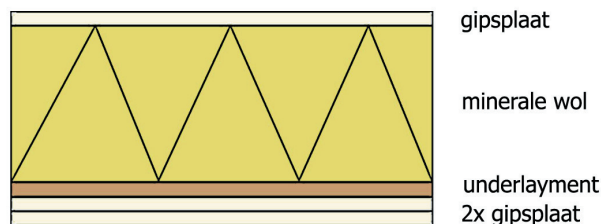


**Figuur 4.9.** Plattegronden van de testruimtes.

	studieruimte	leslokaal
vloeroppervlak:	10,3 m <sup>2</sup>	30,3 m <sup>2</sup>
inhoud:	28,1 m <sup>3</sup>	106,1 m <sup>3</sup>
wandoppervlak:	55,6 m <sup>2</sup>	138,8 m <sup>2</sup>
mean free path	2,02 m	3,06 m
lowest mode	53 Hz	26 Hz
kritische frequentie:	+/- 255 Hz	+/- 170 Hz

**Tabel 4.1.** Eigenschappen van de testruimtes.

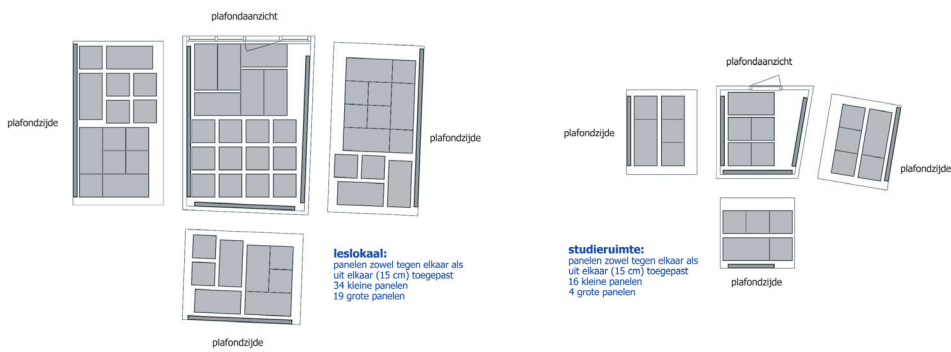
tie. De afwerking van de binnenwanden wordt verzorgd door een twee- of driedubbele laag van gipsplaten. Voor de testruimtes werd de doos-in-doostructie achterwege gelaten en werden de wanden uitgevoerd met metal-stud wanden, met aan de binnenkant een dubbele laag gipsplaten. Om de haken voor de panelen overal aan te kunnen brengen is deze binnenwand verzwaaerd met underlayment platen. In figuur 4.10 is de opbouw van de wanden en het plafond te zien.



**Figuur 4.10.** Wand- en plafondopbouw van de testruimtes.

De vloer is uitgevoerd op een dunne laag isolatiemateriaal met daarop een aantal lagen gipsplaat en een laag underlayment. De vloer is bedekt met een laag linoleum. In de nieuwbouw zal er een gegoten kunststof vloer van 2 mm toegepast worden. Linoleum zal akoestisch vrijwel gelijk reageren als de gegoten kunststof vloer. Het voornaamste kenmerk van de vloeren is dat ze beide hard zijn en het geluid daardoor voornamelijk reflecteren. De wanden van gipsplaat hoeven daarom ook niet afgewerkt te worden. Het dunne spuitwerk zal nauwelijks iets aan de akoestische eigenschappen van de wanden veranderen.

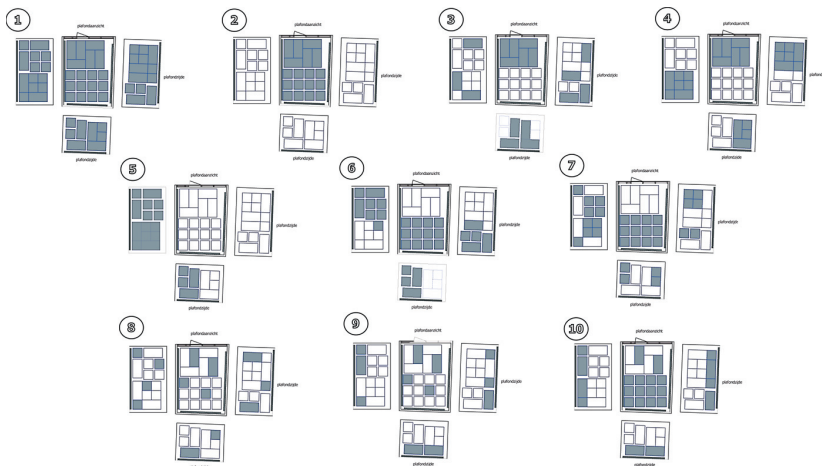
Om de akoestiek voor het testen te kunnen variëren zijn er op de wanden en het plafond haken geplaatst om de breedbandabsorptiepanelen aan te bevestigen. In figuur 3.3 is het principe van dit ophangstelsel te zien. In figuur 4.11 is van de twee testruimtes te zien waar de panelen geplaatst kunnen worden. De indeling is zo gemaakt, dat onderzocht kan worden of er verschil is tussen de tegen elkaar aan geplaatste panelen en de panelen die 15 cm uit elkaar gehangen zijn. Ook kan er gemeten worden of er verschil in absorptie is tussen de grote en de kleine panelen.



**Figuur 4.11.** Mogelijke posities van de panelen in de twee testruimtes.

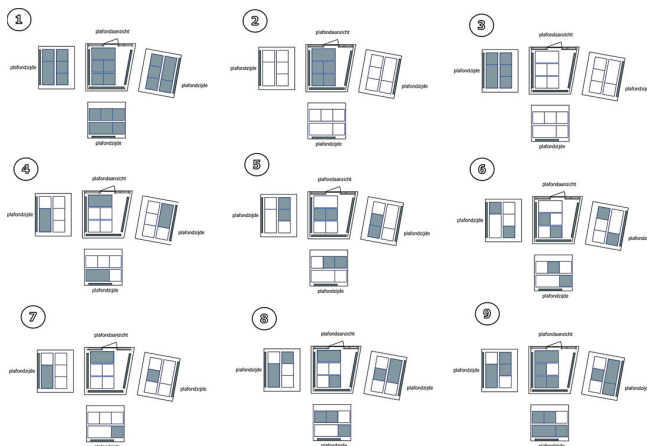
### 4.3 De nagalmtijden in de testruimtes

In figuur 4.11 zijn de mogelijke positioneringen van de panelen te zien. Verschillende opstellingen van de panelen zullen verschillende akoestische eigenschappen hebben. In deze paragraaf worden de resultaten van een aantal varianten van opstellingen in de twee testruimtes besproken. Tevens is er gekeken naar de invloed van de inrichting en personen op de nagalmtijd. In figuur 4.12 is te zien wat de opstellingen zijn van de 10 varianten die in de testruimte van het leslokaal zijn doorgemeten.



**Figuur 4.12.** 10 varianten voor nagalmtijdmetingen in het muziekleslokaal.

In de testruimte van de studieruimte zijn 9 varianten doorgemeten. De opstellingen van deze varianten zijn in figuur 4.13 te zien.

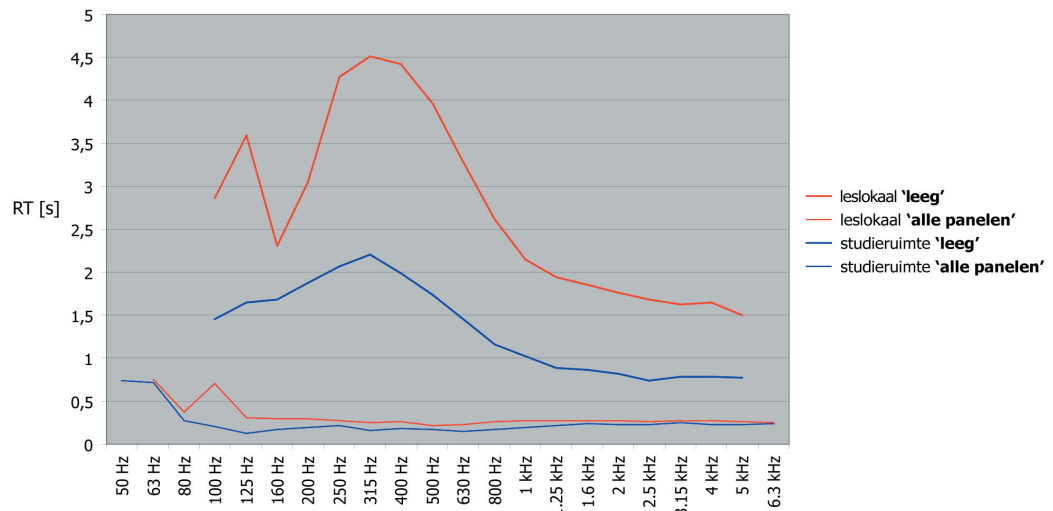


**Figuur 4.13.** 9 varianten voor nagalmtijdmetingen in het studieruimte.



### 4.3.1 De nagalmtijd van de lege en volle testruimtes

In figuur 4.14 zijn de nagalmtijden in de twee testruimtes uitgezet tegen de frequentie. Bij deze metingen zijn 2 personen in de ruimte aanwezig. In de lege ruimtes is, afgezien van de absorptie door de wanden en de personen, geen extra absorptie aanwezig. In de volle variant zijn de ruimtes behangen met 100% van de panelen. Dit betekent 36 grote panelen in het leslokaal en 12 grote panelen in de studieruimte. In het vervolg van dit verslag wordt bij hoeveelheden panelen het aantal grote panelen bedoeld. Bij de testen in het leslokaal zal vooral over percentages van het totale aantal panelen gesproken worden.



**Figuur 4.14.** Nagalmtijden in "volle" en "lege" testruimtes.

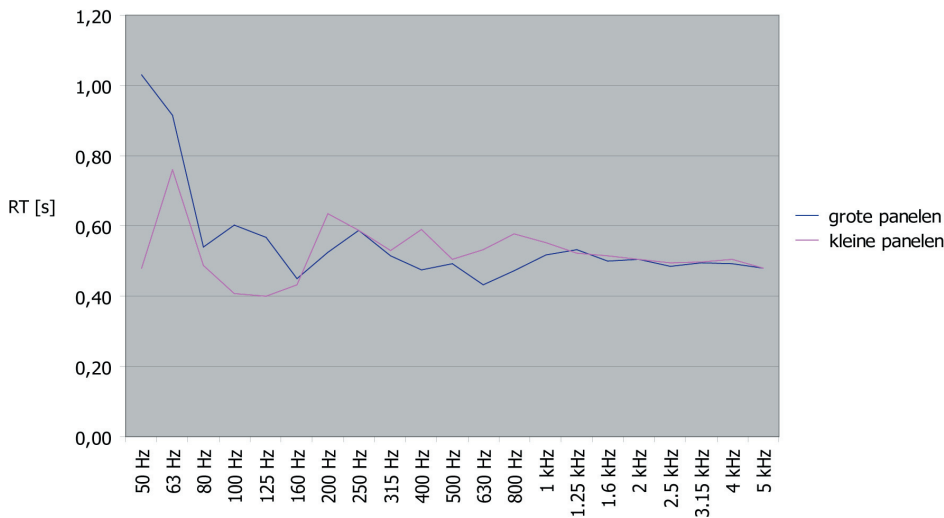
De nagalmtijd in de testruimte van het leslokaal ligt hoger dan de nagalmtijd in de studieruimte. Dit is te verklaren doordat de nagalmtijd, zoals in formule [2.2] is gedefinieerd, afhankelijk is van het volume. Het leslokaal is ongeveer 4 keer groter dan de studieruimte. Verder leidt bij de lege ruimtes het gebrek aan absorptie tot extreem lange nagalmtijden. De nagalmtijd in het Concertgebouw bedraagt bij 500 Hz 2,0 seconden. De nagalmtijd in de testruimte van de studieruimte is hier bijna net zo lang, terwijl deze ruimte bijna 700 keer zo klein is. De ervaring van de galm is dan ook heel anders.

De nagalmtijd is niet constant over de frequentie. Normaliter lopen in een ingerichte ruimte de nagalmtijden van nature op als de frequentie daalt. Bij lage frequenties absorbeert lucht een minimale hoeveelheid energie, bij hoge frequenties absorbeert de lucht juist wel. Vocht, rook en andere onzuiverheden in de lucht absorberen energie van hoge frequenties, die kleinere golflengten hebben. Deze onzuiverheden zullen dus de nagalmtijd van hoge frequenties verkleinen. Als je iemand op een bepaalde afstand hoort praten, klinkt deze veelal doffer dan van dichtbij. Het gaat hierbij vooral om de frequenties vanaf 2000 Hz. Bij bepaalde lage frequenties worden de golflengten zo groot, dat ze niet meer in de ruimte passen en dwars door de muur heengaan. Bij die frequenties wordt zo minder gereflecteerd, waardoor de nagalmtijd bij lage frequenties weer afneemt. Bij het leslokaal lijkt bij 160 Hz een dip in de nagalm-tijdcurve te zitten. Waarschijnlijk is dit niet zozeer een dip, maar wordt het geluidsveld door resonantiepatronen bij 125 Hz versterkt.

Als de breedbandabsorptiepanelen in de ruimtes worden geplaatst vakt de curve netjes af en wordt de nagalmtijd in beide ruimtes teruggebracht tot ongeveer 0,2 seconde. Laagfrequent lijken resonantiepatronen toch nog een kleine rol te spelen. De meetgegevens zijn daar minder betrouwbaar, aangezien het kapotprikken van de ballon laagfrequent minder geluids-energie produceert.

### 4.3.2 Kleine versus grote panelen

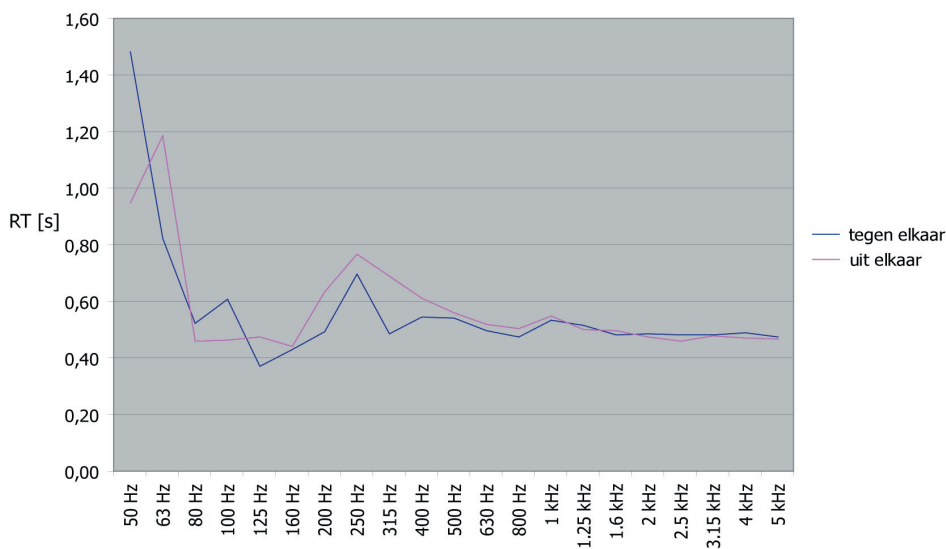
Voor de testen zijn naast de grote panelen ook kleine panelen gefabriceerd met de helft van het oppervlak, omdat deze beter hanteerbaar zijn. De vraag was of deze panelen gelijke absorptiewaarden zouden opleveren. Relatief neemt het frame bij de kleine panelen meer oppervlak in beslag en wellicht werkt de resonerende folie net anders. In figuur 4.15 lijken de panelen niet veel voor elkaar onder te doen. In de grafiek zijn variant 3 (grote panelen) en variant 7 (kleine panelen) uit de meetsessies in het leslokaal te zien. Laagfrequent spelen resonantiepatronen een grotere rol. Doordat de ruimte nog niet ingericht is zijn deze sterker. Inrichting zal de curve afvlakken, omdat het geluidsveld diffuser zal worden.



**Figuur 4.15.** Vergelijking van grote en kleine panelen.

### 4.3.3 Tegen elkaar aan versus 15 cm uitelkaar

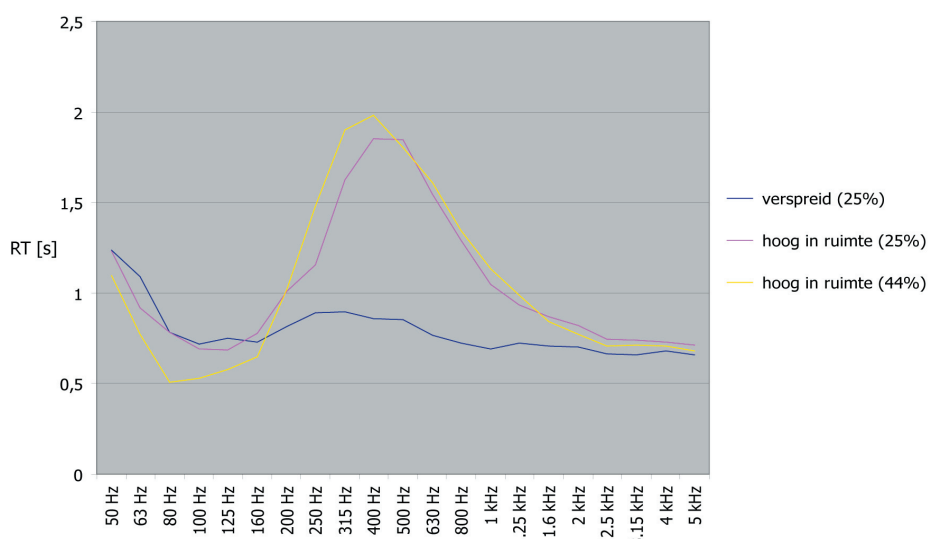
De absorptiemetingen in de nagalmkamer toonden aan dat de panelen beter absorbeerden, wanneer zij iets uit elkaar gelegd werden. Variant 4 (panelen tegen elkaar aan) en variant 6 (panelen uit elkaar) uit de testsessies laten zien dat daar weinig van over is in de praktijk situatie. De nagalmtijd van de panelen die *tegen elkaar aan* geplaatst zijn, ligt op sommige frequenties zelfs onder de curve van de panelen *uit elkaar*. Wat betekent dat de panelen tegen elkaar aan meer zouden absorberen. Maar er moeten niet te snel conclusies getrokken worden. Omdat de panelen van de twee varianten in een aantal vlakken bij elkaar gesitueerd zijn, ontstaan er ook een aantal grote reflecterende vlakken. Niet gestoord door de inrichting in de ruimte spelen resonantiepatronen hier een grote rol. Omdat de meting in de nagalmkamer in een vrijwel diffuus geluidsveld is uitgevoerd, zijn de meetresultaten betrouwbaarder. Het iets uit elkaar hangen van de panelen vergroot immers het absorberend oppervlak, het randeffect en de diffusie.



**Figuur 4.16.** Vergelijking van panelen "tegen elkaar" aan en 15 cm "uit elkaar".

#### 4.3.4 Alle panelen hoog in de ruimte

Om te onderzoeken wat de invloed van het plaatsen van de alle panelen op het plafond is, zijn variant 8, 9 en 10 gemeten. Bij variant 8 is 25% van de panelen zo goed mogelijk over de ruimte verspreid. Bij variant 9 is 25% van de panelen aan het plafond en op de bovenste band van de wanden gehangen. Bij variant 10 is dit percentage verhoogd tot 44%. In figuur 4.17 is te zien dat bij de slecht verdeelde varianten middenfrequent een grote nagalmtijdpiek ontstaat. Deze is te verklaren door de inhomogene absorptie in een verder sterk reflecterende ruimte. Het is bij variant 9 en 10 niet nodig meer absorptiemateriaal op de middenfrequenties aan te brengen, maar om de ontstane reflectiepatronen te doorbreken. Door het toevoegen van diffuserende elementen of door het beter verspreiden van de absorptie, zoals in variant 8, kan dit bereikt worden. Als een ruimte ingericht wordt, zal de diffusie vanzelf verbeteren. In de praktijk zullen daarom niet dergelijk extreme gevallen als variant 9 en 10 plaatsvinden.



**Figuur 4.17.** Vergelijking van panelen "goed verspreid" en panelen "hoog in de ruimte".

#### 4.3.5 De invloed van de inrichting

Zoals hierboven genoemd werd, kan de inrichting van een ruimte een grote rol spelen op de nagalmtijd. Door het plaatsen van meubilair zal het geluid diffuser door de ruimte verdeeld worden. Tevens voegen personen, instrumenten en meubilair absorptie toe aan de ruimte.

In figuur 4.18 zijn variant 8 en 9 nogmaals gemeten, maar nu met een inrichting van een muziekleslokaal: een vleugel, een kast, twee tafels, acht stoelen en twee luidsprekers. Doordat deze elementen het geluid beter door de ruimte verspreiden is de piek bij de middenfrequenties van variant 9 verdwenen. Met hetzelfde aantal panelen is de absorptiewaarde van variant 8 wel iets beter dan die van variant 9.



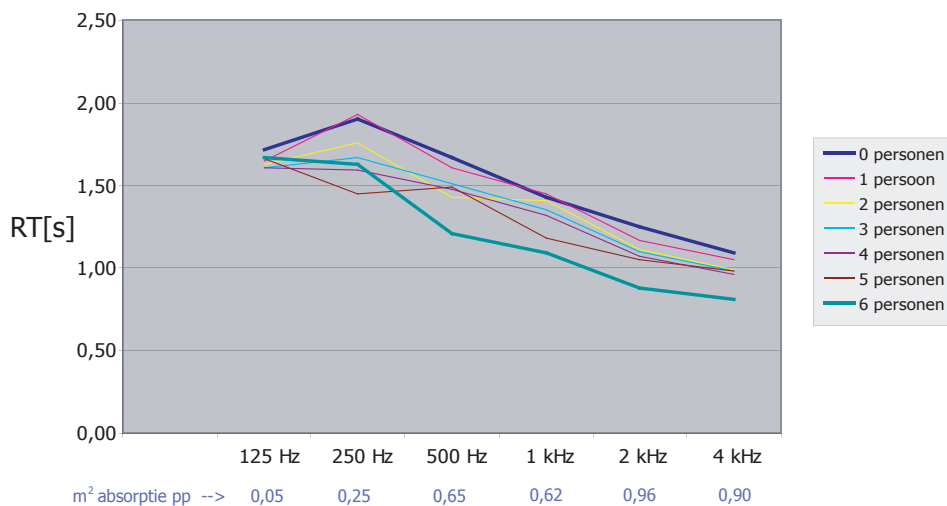
**Figuur 4.18.** De invloed van de inrichting op variant 8 en 9.

In figuur 4.19 is de nagalmtijd (in octaafbanden) van variant 8 met en zonder inrichting te zien. Dit verschil in nagalmtijd kan teruggerekend worden naar een aantal vierkante meters absorberend vermogen. Daarmee kan het absorberend vermogen van de inrichting bepaald worden.



**Figuur 4.19.** Nagalmtijd van variant 8 "leeg" en "ingericht". Het verschil is omgerekend naar aantallen  $m^2$  per octaafband.

Ook is er een meting verricht naar de invloed van aanwezige personen. Bij de meting is begonnen met 6 personen in de ruimte. Na een meting heeft steeds één persoon de ruimte verlaten. De resultaten van deze meet sessie zijn te zien in figuur 4.20.



**Figuur 4.20.** Het absorberende vermogen van personen.

Bij het advies voor de nieuwbouw van het CvA wordt, aan de hand van een gewenste nagalmtijd voor bepaalde instrumenten, bepaald hoeveel absorptie een ruimte moet hebben. De absorptie in de leslokalen zal verzorgd worden door de wanden, de vloer, het plafond, de inrichting, de aanwezige personen en natuurlijk de breedbandabsorptiepanelen. Eerst zal een inschatting gemaakt worden hoeveel vierkante meters absorptie in een lokaal reeds aanwezig zijn, voordat bepaald zal worden hoeveel panelen benodigd zijn.

De nagalmtijd is frequentieafhankelijk. Voor de bepaling van de gewenste akoestiek zal uitgegaan worden van de nagalmtijd op de 500 Hz octaafband. Dit met de wetenschap dat er breedbandabsorptie wordt toegepast, zodat de nagalmtijdcurves over het totale spectrum als redelijk vlak kunnen worden gezien. Als er verder in dit verslag over de nagalmtijd wordt gesproken, zal tenzij anders vermeld, de octaafband van 500 Hz bedoeld worden. Deze ligt voor muzikale doeleinden in het midden van het spectrum.

Om een model op te stellen voor de hoeveelheid aanwezige absorptie in een ruimte afhankelijk van het vloeroppervlak, worden meetgegevens gebruikt.

De absorptie door de wanden en twee personen in het muziekleslokaal is uit de nagalmtijd-formule [2.2] terug te rekenen en bedraagt  $4,39 m^2$ . De invloed van de inrichting is gemeten op  $5,37 m^2$ . Bij elkaar opgeteld is dit ongeveer  $10 m^2$  reeds aanwezige absorptie voor het muziekleslokaal.

Voor de studieruimte is de absorptie door de wanden en één persoon 2,14 m<sup>2</sup>. Er is hier niet gemeten wat de invloed van de inrichting is. Als schatting wordt voor de aanwezige piano en eventuele extra spullen die de student meebrengt, zoals instrumentkoffer en jas, nog eens 2 m<sup>2</sup> aangehouden. De reeds aanwezige absorptie in de studieruimte kan dan gesteld worden op ongeveer 4 m<sup>2</sup>.

Voor ruimtes met een ander vloeroppervlak moet een inschatting gemaakt worden hoeveel absorptie reeds door de wanden en inrichting van de ruimte verzorgd wordt. Hier wordt aangenomen dat dit lineair met toenemend vloeroppervlak oploopt. Hoe groter het vloeroppervlak van een ruimte wordt, des te groter het totale wandoppervlak is en des te meer spullen er in de ruimte geplaatst zullen worden. Uit de waarden voor het leslokaal en de studieruimte kan dan, als model voor de inschatting van reeds aanwezige absorptie in een lokaal de volgende definitie gesteld worden:

$$y = 0,3 x + 1 \quad [4.1]$$

met:

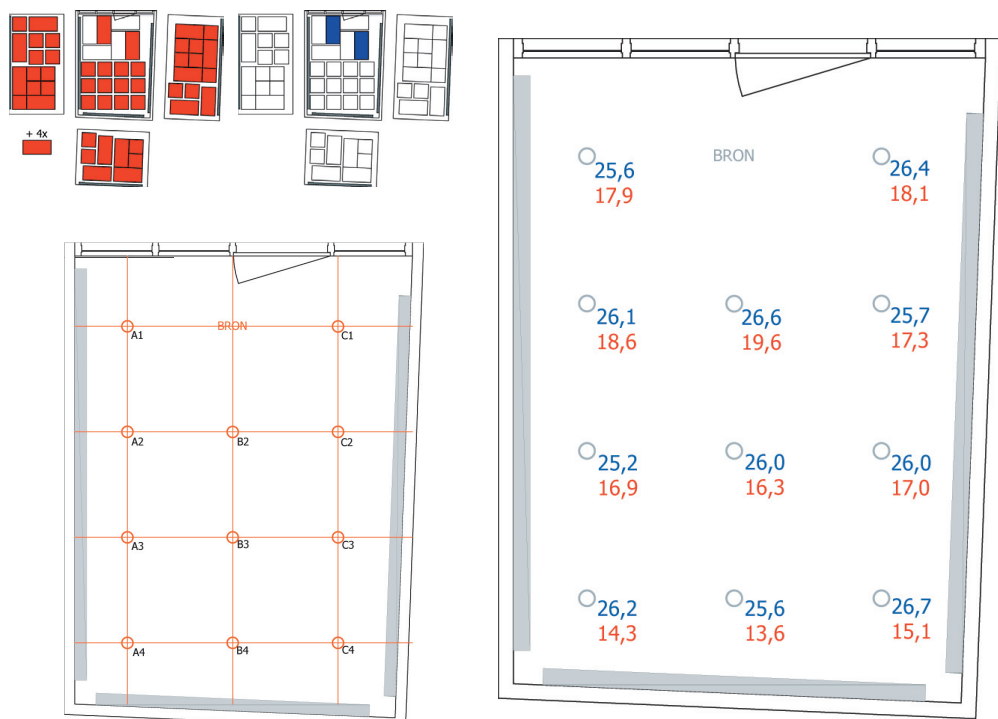
$y$  = hoeveelheid reeds aanwezige absorptie [m<sup>2</sup>]

$x$  = vloeroppervlak van de ruimte [m<sup>2</sup>]

#### 4.4 De luidheid in de testruimte van het muziekluslokaal

Muziekinstrumenten produceren veel geluid. Mensen vinden het vervelend om in een te luide omgeving te verkeren. Als men zich te lange tijd in een luide omgeving bevindt, kan dit heel vermoeiend zijn. Als in een ruimte echter teveel geabsorbeerd wordt, kan men het gevoel hebben dat de oren verstopt zitten. Voor musici uit zich dit ook in het gevoel dat ze het instrument moeten forceren.

In figuur 4.21 worden de luidheidsniveaus van twee varianten met elkaar vergeleken: een bijna lege variant en een variant met alle 36 panelen. Na de eerste acht varianten van de nagalmtijdmetingen is besloten geen aanpassingen meer te maken in de opstelling van de grote panelen op het plafond. Zelfs met hulp van drie personen bleken de panelen bijna onmogelijk goed in de haken te schuiven.



**Figuur 4.21.** De opstelling van de luidheidsmetingen. Hier wordt een variant met alle panelen (rood) vergeleken met een bijna lege ruimte (blauw).

De verschillen tussen de droge ( $RT = 0,2$  s) en de galmende variant ( $RT = 1,6$  s) zijn op een meter afstand van de bron ongeveer 7 dB, op het mean free path (3,06 m) ruim 9 dB en achter in de ruimte ongeveer 12 dB.

Als formule [2.4] wordt ingevuld, worden voor de luidheid  $G$  bij het mean free path respectievelijk 15,8 dB en 25,4 dB gevonden. Het mean free path ligt vanuit de bron ongeveer op punt B2 en daar blijken de berekende waarden met deze waarden in B3 16,3 en 26,0 aardig overeen te komen.

De mens ervaart een verschil van 10 dB ongeveer als 2 keer zo luid (of zacht). Met de panelen is de ervaring van de luidheid in de testruimte dus ongeveer met een factor 2 te variëren. Bij het testen bleek dat het toevoegen of weghalen van één groot paneel al wordt opgemerkt als hoorbare verandering in de luidheid.

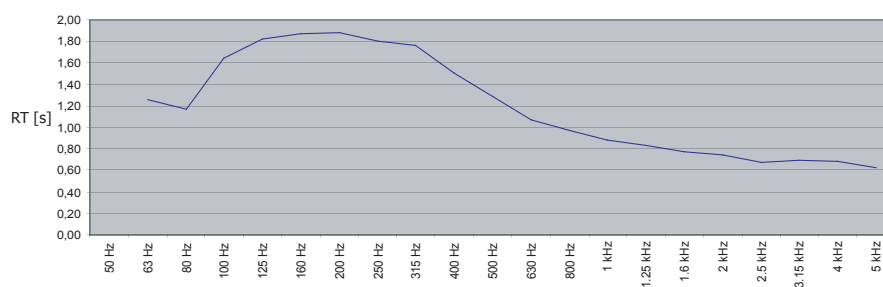
#### 4.5 De nagalmtijden in de lokalen van het huidige gebouw

De meeste lokalen van het huidige gebouw aan de Van Baerlestraat hebben een scheeflopend plafond op 4,5 m hoogte, en zijn bijna alle lokalen uitergust met vloerbedekking. Op de wanden en het plafond zijn verschillende soorten absorptiemateriaal toegepast. In figuur 4.22 zijn hier een aantal voorbeelden van te vinden.



**Figuur 4.22.** Verschillende absorptiematerialen in het Conservatorium van Amsterdam.

Door de vloerbedekking en de geringe dikte van de absorptiematerialen wordt er in de lokalen vooral midden- en hoogfrequent geabsorbeerd. Veel docenten geven aan dat ze de huidige lokalen aan de galmende kant vinden. In figuur 4.23 is de nagalmtijd van lokaal 1.27 te zien. Dit lokaal heeft een vloeroppervlak van 43 m<sup>2</sup> en een hoogte van 4,5 m. Duidelijk is te zien dat de verhouding tussen laag- en hoogfrequent uit balans is. Doordat het lokaal laagfrequent een lange nagalmtijd heeft, klinkt het erg dof.



**Figuur 4.23.** Nagalmtijd in lokaal 1.27 van het CvA.



**Figuur 4.24.** Interieur van lokaal 1.27 van het CvA.

**Figuur 4.25.** Absorptiemateriaal in lokaal 1.27.

#### **4.6 Conclusies van de objectieve metingen**

De inrichting, de wanden, de vloer en het plafond van een ruimte blijken uit de metingen in de testruimtes een belangrijke rol te spelen in het absorberend vermogen van de ruimte. Dit mag zeker niet verwaarloosd worden. Voor de testruimte van het leslokaal is dit ongeveer 10 m<sup>2</sup> en voor de studieruimte 4 m<sup>2</sup> absorptie.

Hoe beter de panelen over de ruimte zijn verdeeld, des te beter de panelen absorberen. Tussen de kleine en de grote panelen blijkt geen verschil te zijn in absorberend vermogen.

Met de formule van de luidheid kan een goede indicatie worden verkregen wat betreft het te verwachten luidheidsniveau van de verschillende varianten.

De huidige lokalen van het CvA hebben een slechte verhouding tussen laag- en hoogfrequent en zijn veelal aan de galmende kant.



## 5. Muziekinstrumenten in een ruimte

*In de muzikale wereld geldt een breed aanbod aan klanken. Van harde klanken op dierenvelen tot zachte klanken uit van hout vervaardigde fluiten. Van metalen snaren die in trilling worden gebracht tot koperen buizen in allerlei vormen, waardoor lucht geblazen wordt. Tegenwoordig zijn deze klanken met behulp van synthesizers en samplers allemaal digitaal na te bootsen. In dit hoofdstuk zal eerst stilgestaan worden bij de algemene kenmerken van klanken en instrumenten om vervolgens een indeling te maken in instrumentgroepen. Ook worden de verschillen tussen muziek en spraak besproken. Tenslotte zal genoemd worden welke aspecten van invloed zijn op het musiceren.*

### 5.1 De werking van muziekinstrumenten

Een van de pioniers, die veel onderzoek heeft gedaan naar de werking van instrumenten en muzikale klanken is Jürgen Meyer. In het boek *Acoustics and the Performance of Music* gaat hij in op het ervaren van muzikale klanken.<sup>1</sup> Elke enkele toon, die onze oren bereikt tijdens de voortgang van een muzikale productie, bevat een scala aan informatie. We ontvangen de toonhoogte, de luidheid en het timbre. We kunnen ook vertellen of de toonhoogte gelijk blijft of gekenmerkt wordt door vibrato. Tevens nemen we luidheidsverschillen waar. Verder kunnen we vertellen hoe de aanzet van de verschillende tonen is. En hoe deze aanzet in relatie tot de rest van de toon staat.

Al deze details leveren een karakteristiek op van het geluid, waar we de muzikale essentie uit kunnen halen. Tevens kunnen we waarnemen door welk instrument de klank is geproduceerd. Hierbij speelt ons auditief geheugen een belangrijke rol. Tenslotte is het ook mogelijk een impressie te krijgen van de soort en de grootte van de ruimte, waar de klank in geproduceerd is. Onze hersenen ontvangen drie hoofdkenmerken van een toon:

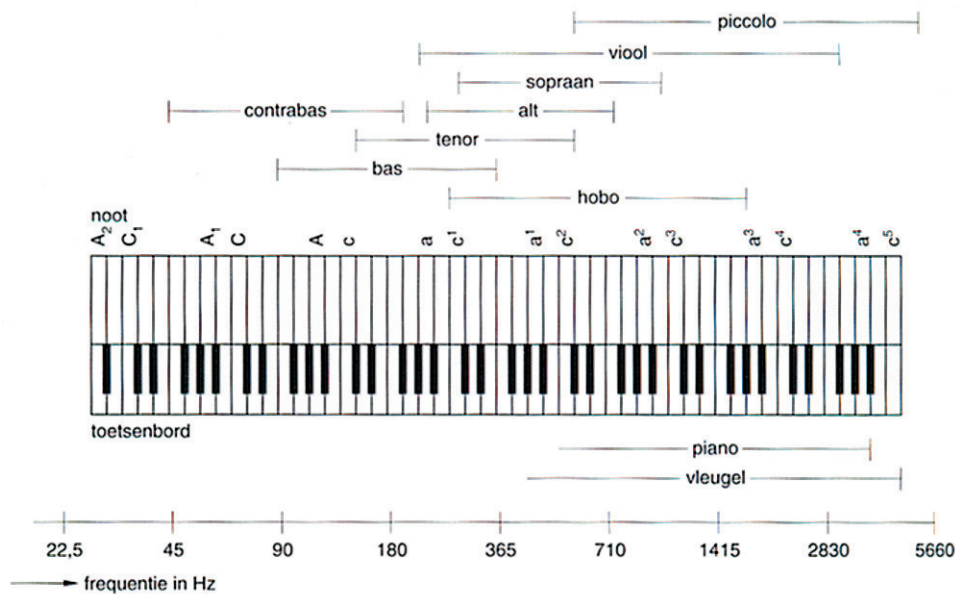
1. de toonhoogte
2. de luidheid
3. het timbre

Klanken van instrumenten worden door deze drie aspecten gekenmerkt. Hieronder zal op de algemene eigenschappen van instrumenten worden ingegaan. Ook wordt de invloed van de richtingskarakteristiek van instrumenten besproken en wordt er stil gestaan bij het ontwerpen van muziekinstrumenten. In paragraaf 5.2 zullen specifieke eigenschappen en eisen van instrumenten besproken worden.

#### 5.1.1 De toonhoogte

De frequentie van een toon is het aantal trillingen per seconde dat door het instrument wordt voortgebracht. Een jong gezond mens kan ongeveer tonen met een frequentie tussen de 20 en 20.000 Hz waarnemen. In figuur 5.1 zijn de frequentiebereiken van verschillende instrumenten in kaart gebracht.





**Figuur 5.1.** Frequentiebereik van verschillende instrumenten. (Van der Linden, 1996)

### 5.1.2. De luidheid

Zelfs de zachtste instrumenten produceren meer geluid dan een niet verheven menselijke stem. Het geluidsniveau van orkesten en bigbands kan oplopen tot boven de 100 dB. Het oor mag eigenlijk niet te lang bloot worden gesteld aan dergelijke geluidsniveaus. Voordat het geluid het publiek bereikt is de energie al wel weer wat afgezwakt, maar de musici zitten midden in de geluidsbron. Het menselijk oor heeft tijd nodig om zich te herstellen van hoge geluidsniveaus. Zogenaamde beroepsdoofheid ontstaat bij blootstelling aan 80 dB(A) over een periode van 40 uur per week. Dat dit voor hogere geluidsniveaus logaritmisch afneemt is in tabel 5.1 te zien.

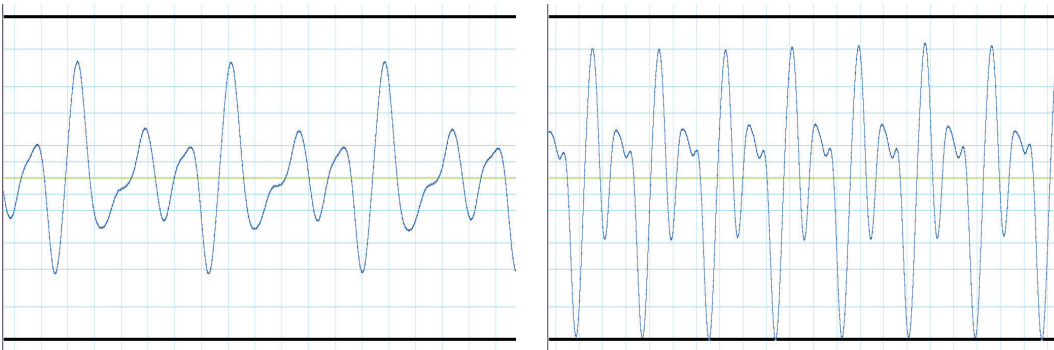
**Tabel 5.1.** Beroepsdoofheid bij blootstelling aan geluidsniveaus. (Nijs, 2002)

80 dB(A)	40 uur
90 dB(A)	4 uur
100 dB(A)	24 min
110 dB(A)	2,4 min

Zoals men bij praten over kan gaan op fluisteren of kan gaan schreeuwen, is er ook in de taal van de muziek sprake van dynamisch bereik. Partituren staan vol met Italiaanse termen, zo ook om het gewenste geluidsniveau aan te geven. *Piano* betekent zacht, *forte* is sterk. In combinatie met *mezzo*, waarmee Italianen in de muziek gematigd bedoelen, zijn hier combinaties mee te maken van pianissimo (*ppp*) tot fortissimo (*fff*). Dit betekent van zo zacht als mogelijk is tot zo sterk als mogelijk is. Uitgedrukt in dB komt dat in het algemeen voor instrumenten overeen met een dynamisch bereik van 25 dB. Dit is echter frequentieafhankelijk. Zo is het bijvoorbeeld op de trompet niet mogelijk om in het hoge register heel zacht te spelen of in het lage register heel hard. Ook komt de luidste toon, die op een instrument valt te produceren, niet overeen met de toon, die muzikaal verantwoord is. Als musici op hun luidst gaan spelen zal er over het algemeen een lelijke klank ontstaan. Maar hier geldt voor spraak hetzelfde. Er is niemand die mooi kan schreeuwen.

### 5.1.3 Het timbre

We herkennen het geluid van een instrument doordat we de karakteristieke klankkleur kunnen plaatsen. Een zuivere sinus is enkel met een toongenerator te produceren. De fysieke eigenschappen van instrumenten zorgen dat er naast de grondtoon ook zogenaamde boventonen worden geproduceerd. Deze zijn niet afzonderlijk te horen, maar bepalen wel het timbre van de instrumentklank. De frequenties en de onderdelinge sterkte van deze boventonen bepalen de klankkleur van een instrument. In figuur 5.2 zijn een aantal trillingen van een trompet te zien.



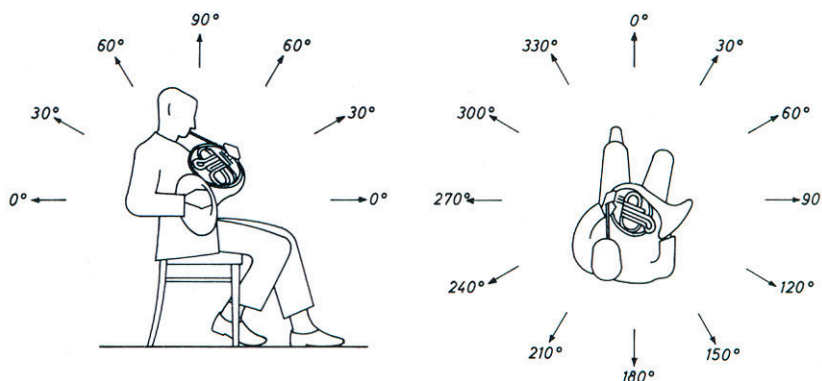
**Figuur 5.2.** De tonen  $f'$  en  $f''$  van een trompet.

De twee bovenstaande tonen in figuur 5.2 zijn de  $f'$  en de  $f''$  van een trompet. De rechter is een octaaf hoger dan de linker toon. De frequenties zijn respectievelijk 350 Hz en 700 Hz. De trilling is niet alleen in de tijd (frequentie) en in amplitude (luidheid) verschillend, maar ook wat betreft de vorm. Dit komt doordat de vorm van de trilling frequentieafhankelijk is. In mindere mate is ook de luidheid van invloed op de verhoudingen van de boventonen. De trillingen van instrumenten zijn dan ook niet met één functie te beschrijven. Voor veel simpele keyboards is slechts één sample van een geluid gebruikt om de toon na te bootsen. Dit is een van de redenen waarom dergelijke tonen kunstmatig klinken. Een instrument is niet zomaar met een wiskundig modelletje te beschrijven. Muziek is sterk gerelateerd aan emoties en subtiele verschillen kunnen sterk van invloed zijn.

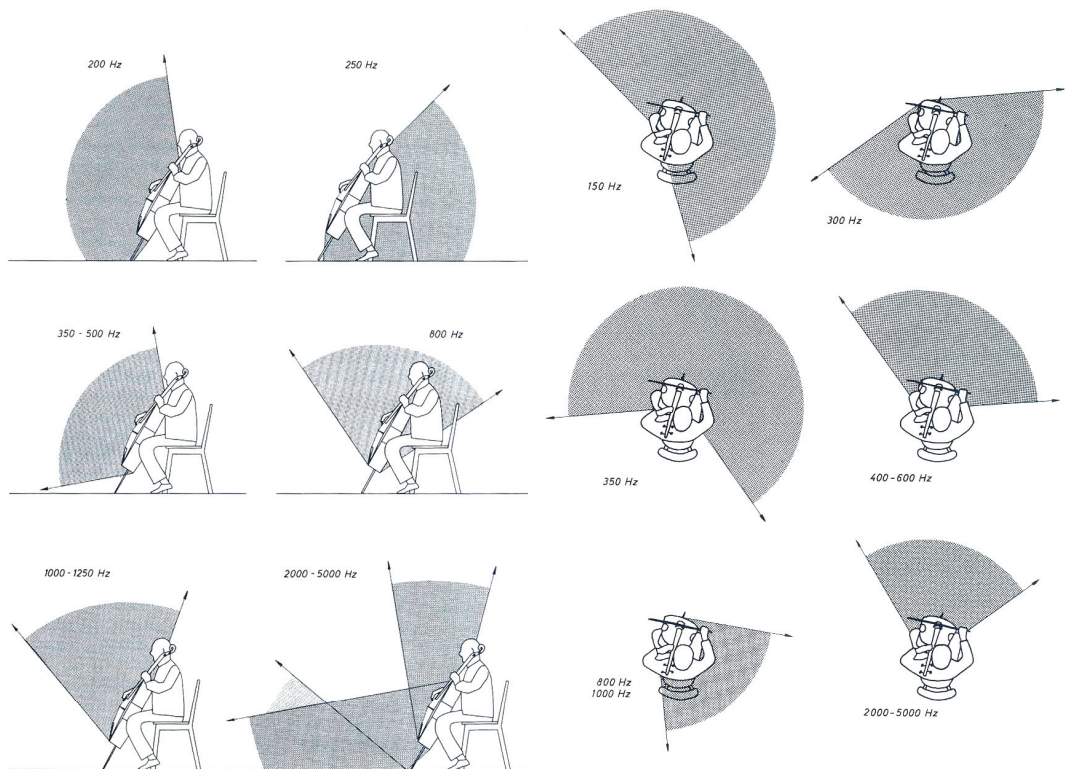
#### 5.1.4. De richtingskarakteristiek

De toonhoogte, de luidheid en het timbre zijn van invloed op de muzikale klankproductie. Hoe deze klank uiteindelijk onze oren en hersenen bereikt, is afhankelijk van de omgeving en de afstand tot de bron. Van invloed is ook hoe de bron, in dit geval de muziekinstrumenten, het geluid projecteren. Het spreekt voor zich dat koperblaasinstrumenten meer geluid projecteren vanuit de richting van de beker dan naar andere richtingen. Maar de vraag is hoe deze richtingskarakteristiek eruit ziet. Tevens is van belang wat de invloed van deze karakteristiek is.

Jürgen Meyer heeft veel onderzoek verricht naar deze richtingskarakteristieken.<sup>1</sup> Door van verschillende instrumenten, bij bepaalde frequenties, rondom te meten wat de luidheidsniveaus zijn, kan de richtingskarakteristiek van een bepaald instrument in kaart gebracht worden. In figuur 5.3 is dit in schema weergegeven. Ook de richtingskarakteristiek is frequentieafhankelijk. Hoe lager frequent de bron is hoe meer het geluid naar alle kanten verspreid wordt. Instrumenten die hoogfrequent zijn, hebben een sterker gerichte karakteristiek. In figuur 5.4 en 5.5 is te zien hoe het geluid van een cello bij verschillende frequenties over de ruimte verspreid wordt.



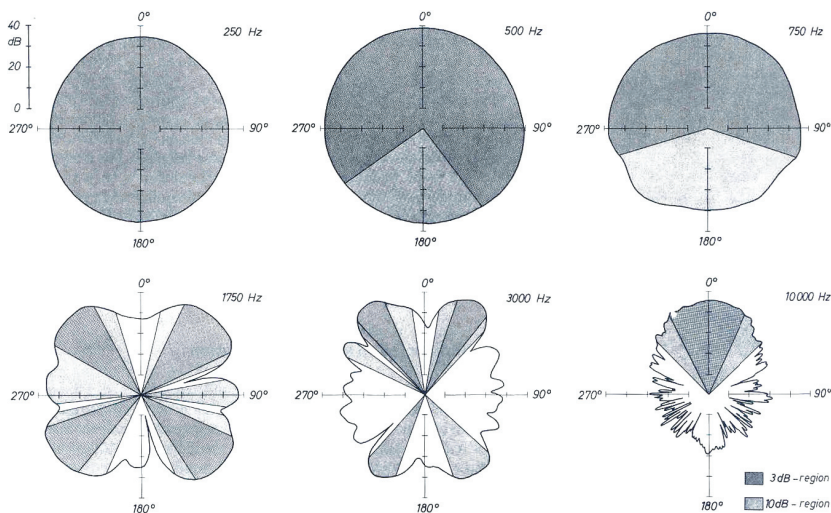
**Figuur 5.3.** Oriëntatie voor de richtingskarakteristiek van de hoorn. (Meyer, 1978)



**Figuur 5.4.** Richtingskarakteristiek van de cello in het verticale vlak. (Meyer, 1978)

**Figuur 5.5.** Richtingskarakteristiek van de cello in het horizontale vlak. (Meyer, 1978)

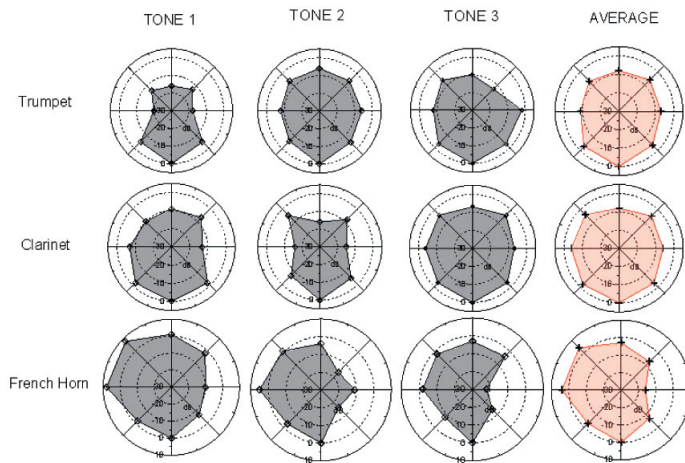
Musici zijn zich over het algemeen weinig bewust van deze richtingskarakteristieken. Sommige blazers zijn van mening dat het geluid alleen in de richting van de beker gaat bijvoorbeeld. Als dit werkelijk zo zou zijn, zou je volledig afhankelijk zijn van enkel indirect geluid. Voor blaasinstrumenten maakt het wel degelijk uit of het instrument op een reflecterend of een absorberend vlak wordt gericht, maar laagfrequent wordt het geluid van een trombone bijna naar alle richtingen evenveel verspreid.



**Figuur 5.6.** Richtingskarakteristiek met verschillende dB-gebieden van de hobo. (Meyer, 1978)

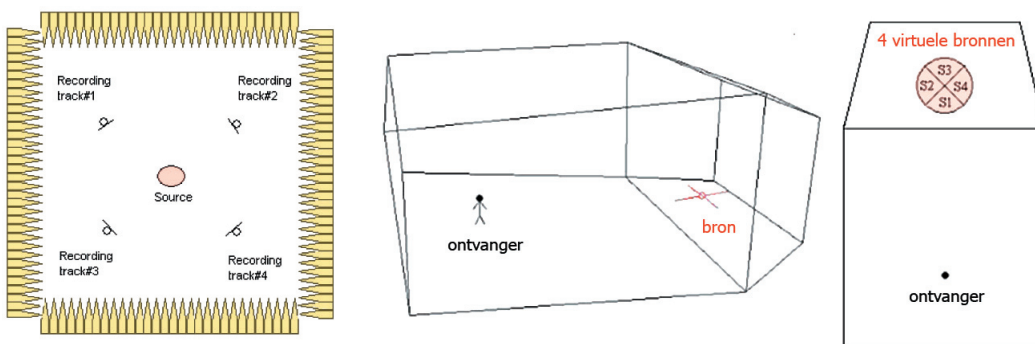
In figuur 5.4 en 5.5 is de hoofdrichting van het geluid aangegeven. De grenzen van deze gebieden moeten echter niet gezien worden als harde grenzen. In bovenstaande figuur 5.6 is voor een hobo, naast een globale 3 dB-zone, ook de 10 dB-zone aangegeven. Meyer heeft zijn modellen opgesteld aan de hand van gemiddelde waarden uit metingen in de uitvoeringssituatie. De richtingskarakteristieken vormen een statisch model. Deze statische modellen van verschillende instrumenten worden in de wereld van de auralisatie veelal als basis genomen. Auralisatie is voor geluid, wat visualisatie is voor beeld. Met behulp van computerpro-

gramma's kan gesimuleerd worden hoe bepaalde ruimtes klanken beïnvloeden. De onderzoekers Otondo, Rindel, Caussé, Misdariis en De la Cuadra toonden aan dat er veel verschil zit in de richtingskarakteristiek van een bepaalde toon, die in dezelfde dode kamer op hetzelfde instrument door dezelfde bespeler is opgenomen.<sup>2</sup> Dit is te zien in figuur 5.8. Het statische model van Meyer als basis nemen voor de auralisatie is dus geen goed uitgangspunt, omdat de instrumenten in de praktijk anders functioneren.



**Figuur 5.8.** Verschil in richtingskarakteristiek tussen dezelfde tonen op hetzelfde instrument met dezelfde bespeler. (Otondo en Rindel, 2001)

In een ander onderzoek prefereren Otondo en Rindel daarom een dynamisch model van instrumenten: door in een dode kamer instrumenten met vier microfoons op te nemen, zoals in figuur 5.9 getoond wordt.<sup>3</sup> De opgenomen signalen worden in het computermodel gekoppeld aan vier verschillende geluidsbronnen. Op deze manier is het dynamische karakter van de richtingskarakteristiek bij de auralisatie mee te nemen. Toch blijft het moeilijk de ingewikkelde materie uit de akoestiek met een computer te simuleren. Als het mogelijk is om met echte musici in een testruimte te testen verdient dat de voorkeur.



**Figuur 5.9.** De dynamische richtingskarakteristiek. (Otondo en Rindel, 2002)

### 5.1.5 Het ontwerpen van muziekinstrumenten

Het ontwerpen van muziekinstrumenten is een vak apart. Er wordt veel onderzoek naar verschillende materialen, vormen en e.d. gedaan. De klank van een instrument is afhankelijk van de kwaliteit van het instrument en de kundigheid van de bespeler. Daarnaast is de klank ook sterk afhankelijk van de ruimte, waarin het instrument bespeeld wordt. Instrumentenmakers zijn zich, bij het ontwerpen van instrumenten, dan ook bewust van bepaalde ruimteakoestische aspecten. Zo stelt Philip Newell in *Recording Spaces* dat instrumenten ontworpen zijn voor het bespelen in een ruimte met een harde vloer.<sup>4</sup> Concertzalen, podia en studio's zijn dan ook bijna altijd uitgevoerd met een harde vloer. Een harde vloer brengt, of eerder houdt, een klank in leven, terwijl de klank op vloerbedekking direct vermoord wordt.



## 5.2 De instrumentgroepen van een conservatorium

Voor het bespelen van verschillende instrumenten worden verschillende eisen gesteld aan de akoestiek. Koperblazers zullen vanwege de luidheid in kleinere ruimtes meer absorptie vragen dan houtblazers. Een fluit vraagt om meer support van de ruimte, waardoor er niet te veel absorptie in de ruimte aanwezig mag zijn om comfortabel te kunnen spelen. In diezelfde ruimte zou een drummer gek worden van het te luide drumgeluid, de harde reflecties van de grond en het ondefinieerbare geluid. Instrumenten met vergelijkbare akoestische eisen zijn daarom ingedeeld in *instrumentgroepen*. Per instrumentgroep zal uiteengezet worden wat belangrijke beoordelingspunten zijn. Muziekinstrumenten kunnen op verschillende manieren ingedeeld worden. Hieronder wordt weergegeven hoe dit voor de betrokken instrumenten en vakgebieden voor het conservatorium gedaan kan worden.

### 5.2.1 Blaasinstrumenten

De lucht wordt bij blaasinstrumenten in trilling gebracht door het blazen op een mondstuk dat aan een buis is bevestigd. Door de lengte van de buis te variëren of door het aantal knopen en buiken in de buis te veranderen, kunnen er verschillende tonen worden geproduceerd.

De groep blaasinstrumenten is onderverdeeld in koperblazers, houtblazers, fluiten en jazzblazers. Die laatste groep bestaat uit instrumenten die ook in de koper- en houtblazersgroep te vinden zijn, maar andere eisen stellen aan de akoestiek. Een jazz-saxofoon heeft een voorkeur voor een wat drogere akoestiek dan de klassieke hobo bijvoorbeeld. Bij het testen bleek ook dat jazz-instrumenten als trompet en trombone een drogere en minder luide akoestiek prefereren dan hun klassieke collega's als tuba en trombone. Vandaar het onderscheid in verschillende instrumentgroepen.

Waar koperblaasinstrumenten veel geluidsenergie produceren, heeft de dwarsfluit en zeker de blokfluit meer steun van de ruimte nodig. Blokfluitdocent Walter van Hauwe omschreef de ruimte als het 'verlengstuk' van de blokfluit. De meer op een sinus lijkende toon van een fluit heeft tevens voldoende diffusie nodig. Te harde reflecties belemmeren het bespelen van de fluit.

De houtblaasinstrumenten zitten wat betreft de akoestische eisen tussen de klassieke koperblaasinstrumenten en fluiten in.

Jazzblazers:	trompet, trombone, saxofoon
Koperblazers:	trompet, trombone, tuba, hoorn, bariton
Houtblazers:	klarinet, hobo, fagot
Fluiten:	dwarsfluit, blokfluit

### 5.2.2 Snaarinstrumenten

Snaarinstrumenten zijn instrumenten, die geluid produceren door een of meerdere snaren aan het trillen te brengen. Dat kan door strijken, tokkelen (vingers of plectrum) of hameren. Het geluid wordt vaak versterkt door een klankkast.

Mede door de verschillende aanslagmethodes en luidheidniveaus stellen de verschillende groepen andere eisen aan de akoestiek. De volgende onderverdeling is gemaakt: Strijkers, Getokkelde snaarinstrumenten, Contrabas jazz en Piano. Omdat piano en vleugel over het algemeen wat luider zijn dan getokkelde snaarinstrumenten en zowel voor de klassieke- als de jazzafdeling gebruikt worden is hier een aparte instrumentgroep van gemaakt.

Ook contrabas jazz perefleert een wat drogere akoestiek. Een verschil tussen de klassieke en de jazz contrabas is het gebruik van de strijkstok. Bij jazz wordt deze namelijk nauwelijks gebruikt. Bassen produceren lagere frequenties en het is van belang dat deze tonen voldoende definieerbaar zijn. Laagfrequent kan het in ruimtes zeker met een gebrek aan absorptie voor de lage frequenties erg wollig gaan klinken. De meer klassieke instrumenten als harp en klavecimbel hebben wat meer levendigheid van de ruimte nodig om tot hun recht te komen.

Stijkers verlangen naar voldoende warmte in hun klank en associëren die warmte vooral met

houten elementen in een ruimte. Voldoende diffusie zal hier zeker ook aan bijdragen. Voldoende 'inrichting' in een ruimte zorgt ook al voor een goede basis aan diffusie. Hier valt te denken aan de meubilering van een ruimte. Doordat de contrabas en de cello contact maken met de vloer wil een houten vloer nog wel eens mee gaan resoneren. Dit wordt als prettig ervaren. Uit puur praktische overwegingen moet de bas niet wegglijden en wordt er daarom wel vloerbedekking geprefereerd. Een akoestisch harde vloer blijkt voor de klank echter beter. De oplossing voor het wegglijden kan daarom beter ergens anders in gezocht worden dan in het toepassen van vloerbedekking.

**Strijkers:**                    viool, altviool, cello, contrabas  
**Getokkelde snaarinstr.:**  gitaar, harp, klavecimbel  
**Piano:**                      piano, vleugel  
**Contrabas jazz:**          contrabas

### **5.2.3 Slagwerk**

Bij slagwerk wordt een materiaal aan het trillen gebracht door middel van een slag. Dat kan een snaredrum zijn, die door een stok in trilling wordt gebracht, een djembé, die met de handen bespeeld wordt, maar ook een stuk metaal dat met een mallet wordt bespeeld. Akoestisch is het grootste onderscheid te maken tussen melodisch en niet-melodisch slagwerk. Bij het melodisch slagwerk zijn de trillingen van een bepaalde klank constant en daardoor te herkennen als een toon. Bij het niet melodische slagwerk overheerst het onregelmatige ruiskarakter van de klank en wordt deze ervaren als een puls. Het melodische slagwerk heeft aan de ene kant de mallets en aan de andere kant de pauken. De instrumentgroep mallets is vernoemd naar de stokken met zachte koppen waarmee gespeeld wordt. De instrumenten verlangen redelijk veel steun en galm van een ruimte. Bij pauken wordt de klank al gesteund door het instrument zelf en om de luidheid binnen de perken te houden mag de ruimte hier een stuk droger zijn.

Het niet-melodische slagwerk is op te delen in jazz en klassiek, al zijn de eisen voor de lessituatie vergelijkbaar. De jazz-afdeling wordt vertegenwoordigd door drums en percussie, de klassieke afdeling heeft een scala aan slaginstrumenten. Vanwege de hoge luidheid en het belang van duidelijke articulatie verlangt het niet-melodisch slagwerk een droge ruimte, en is er een voorkeur voor vloerbedekking.

**Mallets:**                    vibrafoon, xylofoon, marimba  
**Pauken:**                    pauken  
**Niet-melodisch slagwerk:** drums, afrikaans percussie, klassiek slagwerk

### **5.2.4 Zang**

De menselijke stem wordt zowel in de lichte als de klassieke muziek gebruikt. Bij de jazzafdeling wordt er veelal versterkt gezongen. Bij de klassieke muziek gebruikt men geen microfoon. In de lessen en bij het oefenen wordt er in beide situaties akoestisch gezongen. Er moet wat steun van de ruimte zijn om de stem tot zijn recht te laten komen, maar er moet ook voldoende articulatie zijn om fouten niet te verdoezelen. Juist de ervaren zanger(es) dient om te kunnen gaan met een drogere akoestiek.

**Zang:**                      zang klassiek, zang jazz

### 5.2.5 Orgel

Officieel behoort het orgel, net als de accordeon, tot de blaasinstrumenten. Omdat het orgel kenmerkende eisen stelt aan de akoestiek, is dit in een aparte instrumentgroep ingedeeld. Het orgel wordt van oudsher in de kerk bespeeld en heeft vandaar een voorkeur voor sterk galmende ruimtes.

Orgel: orgel

### 5.2.6 Elektrisch versterkte instrumenten

Elektrisch versterkte instrumenten maken gebruik van een versterker voor de klankproductie. Veelal wordt niet alleen het ingebrachte signaal versterkt, maar worden ook effecten als *reverb* en *chorus* toegevoegd. Met aan de versterker gekoppelde effectapparaten kan het originele geluid nog meer naar de wensen van de gebruiker worden aangepast. Waar bij veel akoestische instrumenten de ruimte de originele klank kleurt, wordt dit bij elektrisch versterkte instrumenten door een *kastje* gedaan. De ruimte moet de klank daarom vooral niet teveel beïnvloeden. Er moet echter wel sprake zijn van verspreiding van de klank door de ruimte, want het is zeker niet zo dat de bespelers van versterkte instrumenten het liefst in een gortdroge ruimte spelen. Ook is het van belang dat de versterkers, die meestal ook gelijk de luidspreker zijn, van goede kwaliteit zijn. De versterker is namelijk minstens zo belangrijk als de kwaliteit van het instrument en de ruimteakoestiek, voor de kwaliteit van het voortgebrachte geluid. Ook de positie van de versterker in de ruimte is van invloed op de klank.

Electrisch versterkt: elektrische gitaar, basgitaar

### 5.2.7 Ensembles

Ensemble is Frans voor samenspel. Ensembles zijn er op het conservatorium te vinden in alle soorten en maten. Bij de lichte muziek zijn dit de bigband, de popband, het jazzcombo en ensembles van één soort instrument. Bij klassiek moet gedacht worden aan strijkersensembles, kamermuziekensembles, koperensembles, slagwerkensembles en orkesten. Grote gezelschappen als bigbands en orkesten zullen repeteren in zalen. De slagwerkensembles in de slagwerklokalen. Voor de andere ensembles is een onderverdeling gemaakt in jazzcombo/popband, koperensemble en het klassiek ensemble. De eerste preferen een niet te galmende akoestiek vanwege de versterkte instrumenten en de drums. Het koperensemble heeft voldoende absorptie nodig om de luidheid binnen de perken te houden. Het klassiek ensemble verlangt de meeste galm en steun van de ruimte van de drie instrumentgroepen.

Jazzcombo/Popband: jazzcombo, basensemble, popband  
Koperensemble: koperensemble, kopersecties  
Klassiek ensemble: kamermuziek ensemble, strijkensembles

### 5.2.8 Theorie

Op conservatoria is er ruim aandacht voor muziektheoretische vakken als algemene muziekleer, harmonieleer, componeren en arrangeren, muziekgeschiedenis en solfège. De echt theoretische vakken zullen plaatsvinden in theorielokalen en in collegezalen, die gelijke eisen aan de akoestiek stellen als gewone klaslokalen. Een vak als harmonie aan de piano zal gegeven worden in een pianolokaal. Solfège is een verhaal apart. Bij deze lessen is er veel aandacht voor melodische, harmonische en ritmische dictees. Echter wordt er ook veel gezongen en zal een ruimteakoestiek zoals voorgeschreven voor de gewone theorielokalen te droog zijn.



Theorie algemeen: algemene muziekleer, componeren en arrangeren, geschiedenis  
Theorie solfège: solfège

### 5.2.9 Luidheidsniveaus

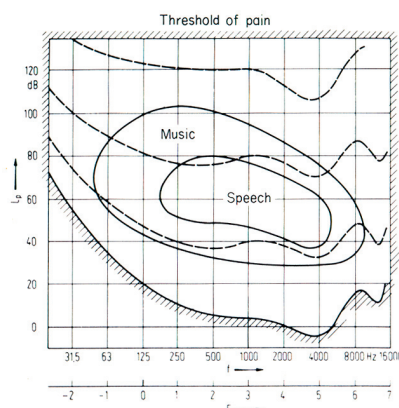
Concluderend kan gesteld worden dat er verschillen wat betreft de akoestische eisen zijn voor de verschillende instrumentgroepen. De luidere instrumenten hebben een voorkeur voor meer absorptie, de zachtere klassieke instrumenten voor minder absorptie. Over het algemeen prefereert de jazzafdeling een wat drogere akoestiek dan de klassieke afdeling. Doordat er bij ensembles meer instrumenten betrokken zijn, moet daar de luidheid in de gaten gehouden worden. Solo-spel kan vaak in een ruimte met meer galm. De luidheid is naast de hoeveelheid galm dus een belangrijk aspect voor de ruimteakoestiek.

## 5.3 Muziek versus spraak

Muziek en spraak zijn twee verschillende zaken. Een ruimte, die akoestisch goed is voor spraak is dat niet vanzelf ook voor muziek. Het onderscheid wordt al door onze hersenen gemaakt. Bij het luisteren naar de radio ontfermt bij de meeste mensen de rechter hersenhelft zich over de melodie, terwijl de linker helft de tekst registreert. Philip Newell stelt dat veel onderzoek naar de perceptie van muziek gebaseerd is op de perceptie van de spraakverstaanbaarheid.<sup>4</sup> Dit is geen goed uitgangspunt. Hij stelt dat er veel gevallen bekend zijn van mensen bij wie, na een ongeluk, de mogelijkheden tot verbale communicatie sterk verminderd zijn, terwijl hun mogelijkheid om muziek te beoordelen geheel intact is gebleven. Deze zaken worden gescheiden door onze hersenen. De term verbale communicatie is hier echter niet helemaal juist. Verbale communicatie is namelijk op te delen in tekstbegrip en intonatie. In de verbale communicatie werken mensen met de muzikale hersenhelft om stemming uit te drukken. Ironie en cynisme zijn duidelijk uit de intonatie van een zin te achterhalen. De betekenis en de verstaanbaarheid van woorden vallen onder het tekstbegrip. Muziek en spraak worden door onze hersenen dus apart behandeld en mogen niet over een kam worden geschoren.

Zoals in paragraaf 5.1 beschreven werd, worden er voor verschillende muziekinstrumenten uiteenlopende eisen gesteld aan de ruimteakoestiek. Bij de spraakverstaanbaarheid draait het erom dat er zoveel mogelijk lettergrepen verstaanbaar zijn. Bij muziek gaat het erom dat er een sfeer wordt gecreëerd waar instrumenten tot hun recht komen en hun bespelers zich comfortabel voelen. Ook moet de toehoorder, in de lessituatie is dat de docent, een goede perceptie van het geluid krijgen.

De rol van subjectieve ervaring, die bij muziek belangrijk is, wordt bij de spraak ondergeschikt gesteld door de objectieve parameter hoe verstaanbaar de boodschap is. Waar voor spraakverstaanbaarheid één model kan volstaan, zijn er voor muziek meerdere zaken van belang. Hier valt te denken aan het soort instrument, de soort muziek, het tempo, en de smaak van de luisteraars. Naast dit verschil zijn het frequentiebereik en de luidheidsniveaus bij muziek uitgebreider dan bij spraak. Dit is te zien in figuur 5.10.



**Figuur 5.10.** Luidheids- en frequentiebereik van muziek en spraak. (Cremer en Müller, 1978)

Het subjectieve karakter van muziek maakt het lastig om het wetenschappelijk goed te benaderen. Brown en Bertsch stellen dat de muziek-akoestiek niet te theoretisch opgevat dient te worden. Het is beter om empirische observaties te gebruiken. Een grote paradox, waar muziek-akoestici mee geconfronteerd worden, is dat bij het isoleren van muziekinstrumenten van de musicus, de ruimte, en de luisteraars, de subjectieve factoren worden verwijderd. Deze subjectieve factoren zijn juist direct verbonden met het hoofddoel van muzikale activiteit, de expressie.<sup>5</sup> Beschrijvingen van de subjectieve ervaring van muziek mogen niet klakkeloos vertaald worden naar objectieve modellen. Het tijdstip dat reflecties onze oren bereiken kan gevat worden in een akoestische parameter. Bij spraak zijn vroege reflecties gunstig voor de verstaanbaarheid. Zij ondersteunen het directe geluid. Reflecties die later binnenkomen verstoren de verstaanbaarheid. Bij spraak wordt daarom gewerkt met de  $C_{50}$ . Deze parameter geeft het verschil tussen geluid dat in de eerste 50 milliseconden binnenkomt en het geluid dat daarna ons oor bereikt. Voor de muzikale definitie wordt de  $C_{80}$ , de *Klarheitsmass*, gebruikt. Dit geeft aan dat de tijds-eenheid van nuttige reflecties voor de definitie bij muziek langer is. Ook is voor de ervaring van muziek, zeker in de uitvoeringssituatie, van belang, dat er voldoende late reflecties aanwezig zijn. Deze vergroten de levendigheid en de ruimtelijkheid van muziek. Bij muziek zijn de richtingen van de reflecties dan ook belangrijker dan bij spraakverstaanbaarheid.

#### 5.4 Welke ruimtelijke aspecten zijn van invloed?

Als een ruimte omschreven wordt, stellen de meeste mensen zich de ruimte voor met beelden. De verschillen tussen ruimtes zijn echter ook duidelijk op het auditieve vlak. Als men iemand bijvoorbeeld geblinddoekt in een ruimte zet, kan deze persoon wel een inschatting maken van de ruimtelijke aspecten. Deze inschattingen zijn echter bij de meeste mensen minder ontwikkeld dan de visuele. Blinde mensen hebben hun auditieve vermogen noodgedwongen beter ontwikkeld. Er zijn blinden, die door het luisteren naar reflectiepatronen, heel nauwkeurig kunnen inschatten hoe groot een ruimte is. De vraag is wat voor musici belangrijke ruimtelijke aspecten zijn.

Ten eerste kan gesteld worden dat men over het algemeen een voorkeur heeft voor grote ruimtes. Een grotere ruimte heeft minder last van resonantiepatronen. Immers hoe groter een ruimte wordt, des te meer de staande golfpatronen uit het hoorbare frequentiegebied verdwijnen. De klank zal hierdoor egalier worden. Ook duurt het in een grote ruimte langer voordat reflecties aankomen. De reflecties zijn hierdoor minder hard en schel. Als reflecties na 30 ms aankomen, worden ze door de hersenen niet meer als beïnvloeding van het directe instrumentgeluid gehoord, maar als galm. Teveel beïnvloeding van het directe geluid is hinderlijk en een beetje galm maakt een ruimte comfortabel om te bespelen.

Er zijn echter ook andere mogelijkheden om sterke resonantiepatronen te voorkomen. Door het toepassen van goed verspreide absorberende of diffuserende elementen kunnen resonantiefrequenties goed aangepakt worden. Door een ruimte door te meten, kan bepaald worden waar bepaalde akoestische voorzieningen geplaatst moeten worden. Als resonantie-frequenties duidelijk aanwezig zijn, zijn deze met een ongetraind oor waar te nemen. Een getraind oor en goede meetapparatuur kunnen resonantiepatronen beter waarnemen. Hoorbare patronen zijn plaatsafhankelijk. Dat wil zeggen dat ze op sommige plaatsen in de ruimte wel te horen zijn en op andere plaatsen niet. Philip Newell bouwde ooit een studio en kreeg een bepaalde resonantiefrequentie er maar niet uit. Ondanks dat deze in de ruimte zelf duidelijk hoorbaar was, werd deze niet opgepikt door de microfoon die voor een bepaalde opname gebruikt werd.<sup>4</sup> Resonantiefrequenties zijn namelijk plaatsafhankelijk.

Het specialistisch aanpakken van resonantiefrequenties gaat voor leslokalen en studieruimtes te ver. Het is echter raadzaam met bepaalde zaken rekening te houden. Door een goede verspreiding van het absorberend materiaal en het voorkomen van grote harde oppervlakken tegenover elkaar, wordt de kans op storende resonantiepatronen sterk verkleind. Het scheef plaatsen van wanden en plafond, het inachtnemen van bepaalde verhoudingen en het niet ontwerpen van te kleine ruimtes, zullen een positieve invloed hebben op de akoestische kwaliteit van een ruimte. Een ander belangrijk element in de ervaring van de akoestiek is gewenning. Het zit in de mens om aan andere milieus te moeten wennen. Soms kan men zo gewend zijn een instrument bij een bepaalde akoestiek te bespelen, dat andere akoestische milieus als inferieur worden be-

schouwd.

Hoe musici zichzelf terughoren beïnvloed hun manier van spelen. Als men hier niet tevreden over is wordt het lekker spelen bemoeilijkt. Oren en hersenen hebben de tijd nodig aan een afwijkende ruimte te wennen. Soms is het nodig om het instrument anders te gaan bespelen om dezelfde gewenste sound te produceren. Een dode kamer is een voorbeeld van een ruimte waar het heel onnatuurlijk is om in te musiceren. Voor auralisatie doeleinden maakt men gebruik van opnames uit de dode kamer. In de winter van 2004 werd er een 80-koppig koor opgenomen. Het koor werd gevraagd medeklinkers minder hard te zingen, terwijl het koor onder normale omstandigheden juist altijd wordt gevraagd duidelijk te articuleren en de medeklinkers juist sterk te zingen.<sup>6</sup>

Een ander voorbeeld om aan een andere klank te moeten wennen is wanneer men voor het eerst met oordoppen in speelt. De oordoppen filteren bepaalde frequentiebanden meer dan anderen en de ervaren luidheid wordt heel anders. Na een tijdje raakt men gewend aan de oordoppen en kan men zich weer volledig op de muziek concentreren. Een ruimte die heel anders reageert op het instrument dan men gewend is, vergt namelijk meer concentratie. Voor pianisten is het altijd maar de vraag wat voor piano beschikbaar is. Ook voor (bas)gitaristen, die geen eigen versterker meebrengen, is het de vraag, wat voor kwaliteit ze kunnen verwachten. Deze zaken beïnvloeden het voortgebrachte geluid en ze werken door op de ervaring van de akoestiek.

Voor ruimtes is het daarom zaak om in het algemeen neutraal van klank te zijn. Dit geldt zeker voor uitvoerzalen en studios. Een ruimte mag een musicus zeker niet tegenwerken. Een instrument moet een ruimte kleuren en niet andersom. In een kleine ruimte is het de vraag hoeveel absorptie nodig is om het blikerige karakter van de ruimte eruit te halen. Een grotere ruimte klinkt van nature beter, maar kan ook hinderlijke elementen hebben. Als bijvoorbeeld te veel absorptie aanwezig is, zal men het instrument moeten gaan forceren. Voor een ruimte is belangrijk dat deze comfortabel is en de musicus de ruimte geeft om zijn creativiteit te uiten.

#### Referenties:

- [1] J. Meyer, *Acoustics and the Performance of Music* (Verlag Das Musikinstrument, Frankfurt, 1978).
- [2] F. Otondo, J. Rindel, R. Caussé, N. Misdariis and P. de la Cuadra, *Directivity of musical instruments in a real performance situation*.
- [3] F. Otondo and J. Holger Rindel, *New Method for the Directional Representation of Musical Instruments in Auralizations*.
- [4] P. Newell, *Recording Spaces* (Focal Press, Oxford, 1998)
- [5] A. W. Brown and M. Bertsch, *The paradox of musical acoustics: Objectivizing the essentially subjective* (Proceedings of the Conference on Interdisciplinary Musicology (CIM04) Graz/Austria, 15-18 April, 2004)
- [6] D. Grandall, *Auralization Software Gets New Boost* (Echoes, The newsletter of The Acoustical Society of America, Volume 14, Number 1 Winter 2004)



## 6. Het variëren van de akoestiek

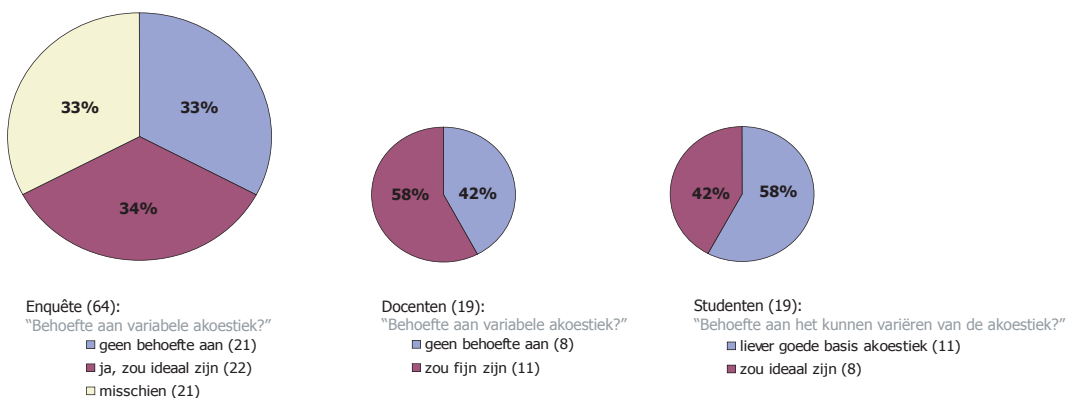
*Mensen willen graag zelf zaken kunnen regelen. Vertraging met de trein wordt als vervelender ervaren dan in de file staan met de auto. Dit komt omdat mensen in de file het gevoel hebben zelf nog invloed uit te kunnen oefenen op de situatie. Ook voor musici lijkt het een pre als zij de akoestiek van een ruimte kunnen variëren. Er moet echter goed bekeken worden of deze variatie geen overbodige luxe is. In dit hoofdstuk worden verschillende systemen toegelicht en wordt geformuleerd wanneer variabele akoestiek uitkomst kan bieden.*

### 6.1 De wil om te variëren

In de jaren tachtig kwam in de bouwkundige wereld het *sick building syndrome* opzetten. Kantoorgebouwen werden ontworpen met gesloten gevels en de toevoer van lucht ging enkel nog met behulp van mechanische systemen. Het ziekteverzuim werd groter en de vraag naar gebouwen, waarbij ramen opengezet konden worden nam toe. Onderzoeken wezen uit dat als mensen de mogelijkheid werd geboden zelf aan de knop van een radiator te draaien of zelf een raam open te zetten, zij minder snel klaagden over de behaaglijkheid. Het comfort wordt in dergelijke situaties hoger ingeschaald.

Men kan zich voorstellen dat ook akoestiek die te variëren is, leidt tot een hogere beoordeling van het comfort. Ook al worden de voorzieningen niet gebruikt, toch zal hun aanwezigheid de ervaring van de kwaliteit van de akoestiek verbeteren. Mensen vinden het namelijk prettig invloed uit te kunnen oefenen op hun omgeving.

Zowel in de enquête als bij de testen met studenten en docenten werd gevraagd naar de behoefte om te kunnen variëren met de ruimteakoestiek.



**Figuur 6.1.** Behoefte aan variabele akoestiek.

Het variëren van de akoestiek gaat in de eerste plaats om het aanpassen van de hoeveelheid galm en het luidheidsniveau. Dit gebeurt over het algemeen door middel van het vergroten of verkleinen van het absorberend oppervlak in een ruimte. Er kan echter ook gevarieerd worden in de hoeveelheid diffusie. Door de eigenschappen van oppervlakken te veranderen worden de reflectiepatronen aangepast. In de regel zal er een voorkeur zijn voor meer diffusie. Ingrepen ten behoeve van de diffusie kunnen daarom beter permanent worden aangebracht in plaats van verwerkt te worden in een variabel systeem.

Hoe sterker de gewenste akoestische eigenschappen uiteen liggen, des te meer variatie van de akoestiek benodigd is. In de huidige samenleving is er steeds meer vraag naar multifunctionele ruimtes. Zalen moeten bijvoorbeeld zowel voor concerten als voor conferenties gebruikt kunnen worden. Bij muziek is er ook nog onderscheid gewenst voor verschillende soorten muziek. Waar componisten vroeger speciaal voor een bepaalde kerk componeerden, moet een ruimte tegenwoordig aan te passen zijn voor verschillende soorten composities.

## 6.2 De verschillende methoden

Er zijn verschillende mogelijkheden om de akoestiek te variëren:

- het veranderen van het volume van de ruimte
- het veranderen van de hoeveelheid en de positionering van de absorberende, reflecterende en diffuserende elementen in de ruimte
- het gebruik maken van elektro-akoestische systemen

Uiteraard zijn ook combinaties van bovengenoemde systemen mogelijk. Tevens kan er met plaats en tijd gevarieerd worden. Variatie met plaats kan bijvoorbeeld door naast elkaar meerdere ruimtes te creëren met een verschillende akoestiek. Er kan dan van ruimte worden gewisseld om in een ander akoestisch milieu te spelen. Voor een conservatorium behoort dit zeker tot de mogelijkheden. Er is dan sprake van indirecte variatie door middel van roostering.

Ook de dimensie tijd kan losgelaten worden op de wil om te variëren. De vraag is of het van belang is dat er direct van akoestische configuratie gewisseld kan worden of dat er slechts eens in de zoveel weken variatie nodig is. Als de frequentie van variatie laag is, bijvoorbeeld een week of een maand, kan beter aan een aanpasbare akoestiek gedacht worden. Het is dus van belang van tevoren in te schatten hoe urgent de wil om te variëren is om tot een geschikte systeemkeuze te komen. Het is namelijk zonde om veel geld te investeren in een systeem dat nauwelijks gebruikt wordt.

Naast tijd en plaats dient ook stilgestaan te worden bij de hoeveelheid benodigde variatie. Deze is afhankelijk van de verschillende eisen van gebruikers. Als de benodigde variatie klein is, dan rijst de vraag of het nodig is een systeem aan te schaffen. Als systemen slechts over een klein gebied kunnen variëren is men sneller geneigd het systeem niet te gebruiken. Bij veel benodigde variatie is de vraag of de verschillende gebruikers per se gebruik moeten maken van dezelfde ruimte of dat ze beter ondergebracht kunnen worden in verschillende ruimtes.

### 6.2.1 Veranderen van het volume van de ruimte

Door gebruik te maken van volumeverandering zal de nagalmtijd en de luidheid van een ruimte veranderen. In beide formules [2.2] en [2.4] is het volume ( $V$ ) van invloed. De nagalmtijd zal rechtevenredig korter worden bij een verkleining van het volume. De luidheid zal groter worden bij een verkleining, aangezien de geluidsenergie zich over een kleiner volume moet verdelen. Het variëren van het volume kan door beweegbare wanden en plafonds toe te passen of door bepaalde volumes afsluitbaar te maken, zodat bij afsluiten het volume van de ruimte verkleind wordt.

Een voorbeeld van deze toepassing is bijvoorbeeld het nieuwe Muziekgebouw aan 't IJ te Amsterdam. Boven het visuele plafond bevindt zich een ruimte, die net zo groot is als de zaal onder dat plafond. Door beweegbare elementen boven het visuele plafond is het volume van de zaal te variëren.

### 6.2.2 Veranderen van de hoeveelheid en de positionering van de absorptie

In de formule van de nagalmtijd [2.2] en in de formule van de luidheid [2.4] is naast het volume ( $V$ ) de hoeveelheid absorptie (uitgedrukt in  $a$ ) in de ruimte op beide grootheden van invloed. Door het toepassen van verschillende materialen en vormen kan het ruimteakoestisch comfort aangepast worden.

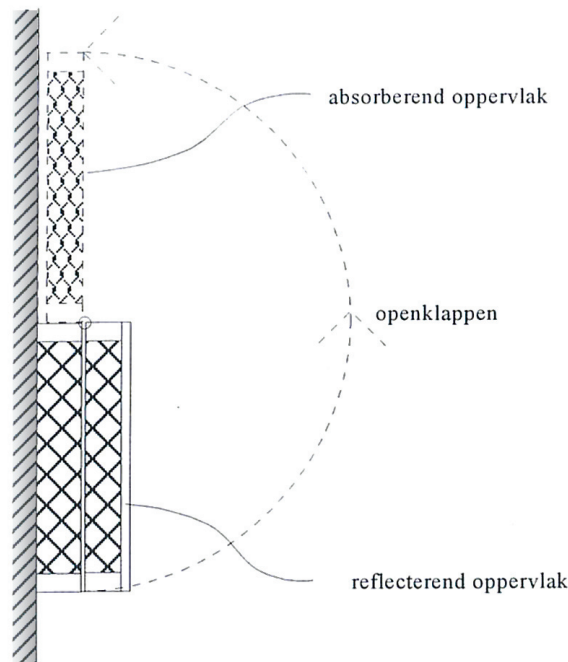
Dit kan met de volgende systemen gedaan worden:

- Verwisselbare elementen (tijdsafhankelijk)
- Gordijnen / doeken
- Scharnierende panelen
- Schuifsystemen
- Draaibare elementen

Een voorbeeld van verwisselbare elementen zijn de in hoofdstuk 3 beschreven breedbandabsorptiepanelen. Deze kunnen in de testruimtes verplaatst of eruit verwijderd worden om de akoestiek aan te passen.

Het systeem van weg te schuiven gordijnen of op te rollen doeken is de meest toegepaste vorm van variabele akoestiek. Het nadeel van deze oplossing is dat ze vooral midden- en hoogfrequent absorberen. Het voordeel is het gebruiksgemak. Het feit dat bijna iedereen de werking ervan begrijpt, pleit voor deze vorm van variabele akoestiek.

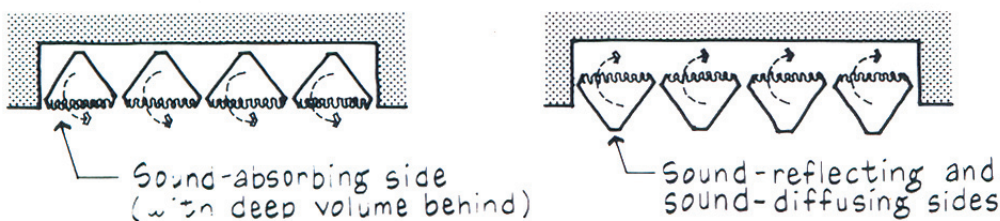
Scharnierende panelen zijn te zien in figuur 6.2. Als het paneel dicht is, wordt het oppervlak gevormd door een hard reflecterend vlak. Als het paneel, dat aan de binnenkant is afgewerkt met absorberend materiaal, wordt opengeklapt, komen twee absorberende vlakken aan de zichtzijde.



**Figuur 6.2.** Scharnierende panelen van het Rotterdams Conservatorium. (Peutz)

Schuifsystemen werken ook met het variëren van het oppervlak. Door een beweegbare plaat voor een absorberend oppervlak te schuiven zal de absorberende werking teniet gedaan worden.

Ook is het mogelijk in plaats van schuifbare of omklapbare elementen, draaibare elementen toe te passen. Door aan de elementen te draaien kan de gewenste kant richting ruimte gedraaid worden. Een voorbeeld is te zien in figuur 6.3 Vaak worden dergelijke elementen driehoekig uitgevoerd. De verschillende zijden hebben andere akoestische eigenschappen: reflecterend, diffuserend, laagfrequent absorberend of midden- en hoogfrequent absorberend. Het nadeel van dergelijke systemen is dat er voldoende oppervlak per zijde nodig is. Als de elementen verkleind worden, zal de bandbreedte namelijk sterk verminderen. Door de benodigde grootte nemen de elementen veel functionele ruimte in.



**Figuur 6.3.** Het variëren van de akoestiek d.m.v. draaibare elementen. (Barron, 1993)



### 6.2.3 Gebruik maken van elektro-akoestische systemen

Bovenstaande oplossingen maken gebruik van mechanische systemen. De akoestiek kan echter ook aangepast worden door middel van elektro-akoestische elementen. Hiervoor is het nodig om het geluid van de bron op te vangen met een of meerdere microfoons. Door dit signaal vervolgens naar wens te veranderen en het via meerdere luidsprekers weer in de ruimte terug te brengen kan de akoestiek sterk veranderd worden. Om niet teveel hinder te ondervinden van de akoestiek van de ruimte zelf, is het van belang om het geluid dicht bij de bron op te nemen. Ook is het belangrijk dat de ruimte relatief droog is, zodat de elektronische aanpassingen niet overheerst worden door de galm van de ruimte. Diemer de Vries, verbonden aan de faculteit Technische Natuurkunde van de TU Delft, is medegrondlegger van het elektro-akoestische systeem *Acoustic Control System (ACS)*. In paragraaf 6.3.4. wordt dit systeem, dat toegepast is in het Auditorium van de TU Delft, beschreven, op basis van een interview met De Vries.

## 6.3 Referentieprojecten

Om inzicht te krijgen over de toepassing van variabele akoestiek, is een aantal referentieprojecten bezocht. Hier is gekeken naar de werking van verschillende systemen en naar de voor- en nadelen in het gebruik.

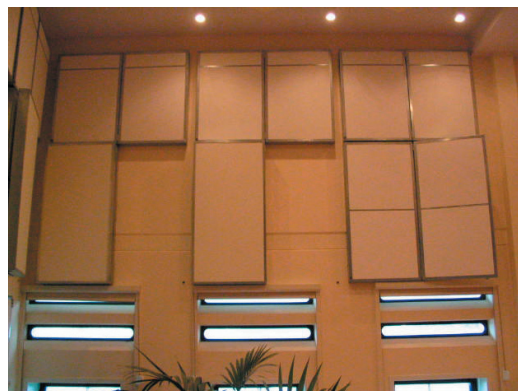
### 6.3.1 De scharnierende panelen van het Rotterdams Conservatorium

In het bouwproces van het Rotterdams Conservatorium werd eind jaren negentig gesproken over het toepassen van variabele akoestiek. De variabel akoestische elementen zijn uiteindelijk toegepast in twee zalen. Voor lesruimtes is het variëren nooit echt overwogen. In figuur 6.2 is de werking van de panelen te zien. In figuur 6.4 en 6.5 zijn de toegepaste panelen in een zaal te zien.



**Figuur 6.4.** Scharnierende panelen toegepast in een zaal van het Rotterdams Conservatorium.

**Figuur 6.5.** Panelen in open en dichte stand.



De huidig directeur Ben Meijers was in eerste instantie niet bij het bouwproces betrokken. Toen hij naar Rotterdam kwam was de beslissing over variabele akoestiek al gemaakt. Hij was erg enthousiast en beschreef de ingreep als het *'ei van Columbus'*. Maar in de praktijk werd er volgens hem uiteindelijk weinig gebruik van gemaakt. *'Een jaar later is het gebruik van de panelen gestimuleerd en werden ze meer gebruikt, maar deze ervaring zakke al snel weer in.'*

Aart Muizer (orkestinspectie, instrumentenbeheer van het Rotterdams Conservatorium) weet veel van het gebruik van de zalen. Hij vertelt dat de panelen wel degelijk worden gebruikt. Zeker ook door studenten zelf. Blazers gebruiken ze meer dan strijkers. Als een blazer met pianobegeleiding speelt, worden de panelen vaak dichtgeklapt zodat de reflecterende kant naar voren zit. De nagalmtijd wordt dan langer en het luidheidsniveau gaat omhoog. Strijkers zijn hier minder mee bezig. In een van de zalen wordt ook met een symfonie-orkest gerepeteerd. Alle panelen worden dan opengezet om de luidheid zo ver mogelijk in te perken. Eigenlijk is de zaal te klein voor een symfonie-orkest. Bij ensembles met uitvoeringen van Kurt Weil en Bertolt Brecht worden de panelen juist weer dichtgeklapt om *'een bak muziek'* te kunnen maken.

### 6.3.2 Toepassing van gordijnen in verschillende conservatoria

Vaak geldt dat hoe beroemder de architect is, des te meer deze zijn mening over comfort-technische ingrepen doordrukt. Helaas betekent dit vaak dat deze aan de laars worden gelapt. Akoestisch adviseur Klomp heeft voor het Tilburgs Conservatorium flink in de clinch gelegen met architect Coenen. Dit resulteerde in de toepassing van extra wandabsorptie na de ingebruikname van het gebouw. Ook heeft een aantal docenten gevraagd naar het ophangen van gordijnen. In figuur 6.6 is een van de weinige lokalen met gordijnen te zien. De gordijnen worden volgens directeur Jan Wirken regelmatig gebruikt.



**Figuur 6.6.** Gordijnen in een leslokaal van het Tilburgs Conservatorium.

In figuur 6.7 is de faculteit slagwerk van het Conservatorium van Detmold in Duitsland te zien. Hier zijn verschillende akoestische milieus in verschillende lokalen gecreëerd. Melodisch slagwerk stelt heel andere eisen aan de ruimteakoestiek dan niet-melodisch slagwerk. In de grote zaal van de faculteit, die in figuur 6.8 te zien is, kan de nagalmtijd aangepast worden door middel van rolgordijnen en gewone gordijnen voor de ramen. Een kant van de zaal is uitgevoerd met een absorberend systeemplafond. Middenfrequent is de nagalmtijd met behulp van de gordijnen hier terug te brengen van 0,7 naar 0,6 seconde en aan de reflecterende kant van 0,9 naar 0,7 seconde. Volgens docent Prommel wordt er, naast een duidelijke keuze om in het reflecterende gedeelte of onder het absorberende plafond te gaan staan, ook van de mogelijkheid om de akoestiek te variëren met de gordijnen gebruik gemaakt. Bijvoorbeeld als opnames gemaakt worden, zal zoveel mogelijk geabsorbeerd worden door alle gordijnen te sluiten en te spelen onder het absorberende plafond. Er worden soms nog extra doeken opgehangen.



**Figuur 6.7.** Faculteit slagwerk van het Conservatorium van Detmold (Duitsland).

**Figuur 6.8.** Dichte gordijnen in de grote zaal van de faculteit slagwerk van het Conservatorium in Detmold.

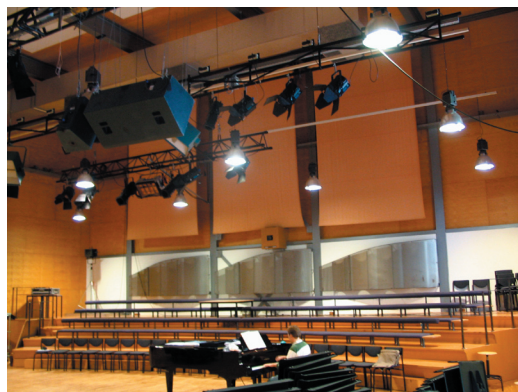
In het huidige gebouw van het Conservatorium van Amsterdam aan de Van Baerlestraat zijn sommige lokalen ook uitergerust met gordijnen. Deze zijn in eerste instantie bedoeld als zonwering, maar in lokaal 2.30 zijn, naast gordijnen aan de gevelzijde, ook gordijnen voor een wand gehangen. Op de middenfrequenties is de nagalmtijd daarmee te variëren van 0,75 naar 0,60 seconde. Een nadeel is dat de gordijnen in 2.30 niet helmaal weg te schuiven zijn. Als de gordijnen zich nog in het zicht bevinden, zullen deze ook nog redelijk wat absorberen. In geplooid toestand absorberen ze per vierkante meter meer dan in de uitgeschoven situatie. Bij het toepassen van gordijnen is het daarom beter als de gordijnen kunnen worden weggeschoven achter een reflecterend vlak, om zo de variatie te vergroten. De eerder besproken psychologische werking van variatie blijkt in lokaal 1.40 te werken. Een docent zegt regelmatig gebruik te maken van het dunne gordijn, dat voor de ramen hangt, om de akoestiek te variëren. Uit metingen bleek de stand van het gordijn echter geen invloed uit te oefenen op de nagalmtijd. Wellicht is het wel van invloed op de hardheid van de reflecties. Het glasoppervlak geeft namelijk meer ketserige reflecties af dan het gordijn.



**Figuur 6.9.** Gordijnen in lokaal 2.30 van het Conservatorium van Amsterdam.

### 6.3.3 De doeken van Mekelweg 10

Mekelweg 10 is het cultureel centrum van de TU Delft. De grote zaal (256 m<sup>2</sup>) wordt gebruikt voor kleinere theatervoorstellingen, concerten, popbandjes, lezingen en filmvertoningen. Door middel van zes oprolbare doeken is de nagalmtijd in de zaal te variëren tussen 1,0 en 1,3 seconde. Normaal gesproken hangen de doeken in hun uitgerolde stand. Alleen bij uitvoeringen van koren worden ze opgerold, waardoor de nagalmtijd verlengd wordt. Orkesten klagen nooit en weinig mensen zijn op de hoogte van de mogelijkheid de akoestiek te kunnen variëren. In eerste instantie zouden er twee maal zo veel doeken komen, maar dit is om financiële redenen niet doorgegaan. De bediening zit in de regiekamer en kan daardoor alleen door bepaalde mensen verzorgd worden. Ook bij theatervoorstellingen gaan de doeken soms omhoog, maar dan vanwege puur functionele toepassingen. Edwin Uytenbroek, de studio- en geluidstechnicus van het cultureel centrum, vertelt dat de doorslaggevende reden om de variabele akoestiek niet te gebruiken de te kleine variatie is. In het universitair cultureel centrum De Griffioen in Amsterdam is er wel voldoende variatie mogelijk en wordt het systeem daardoor veel meer gebruikt. Uytenbroek zou in de oefenlokalen van het gebouw ook nog wel aanpassingen willen maken en variabele akoestiek willen toepassen.



**Figuur 6.10.** Oprolbare doeken in de grote zaal van cultureel centrum van de TU Delft.



### 6.3.4 De elektro-akoestiek van het Auditorium van de TU Delft

In het auditorium van de TU Delft is een *Acoustic Control System* (ACS) toegepast.<sup>1</sup> Het bedrijf ACS is in de jaren tachtig opgezet toen orgelspeler Griffioen een systeem voor elektro-akoestiek verzon. Zelf kwam hij uit de *cementwereld* en wist niet hoe hij het systeem verder zou kunnen ontwikkelen. Samen met Diemer de Vries van de faculteit Technische Natuurkunde werd het systeem verder uitgewerkt en werd veel geëxperimenteerd in de testopstelling van het auditorium van de TU Delft. Tegenwoordig zijn er ongeveer zeven bedrijven, die een dergelijk elektro-akoestisch systeem aanbieden. Volgens De Vries wordt de elektro-akoestiek veel te weinig toegepast. Hier zijn meerdere redenen voor aan te dragen. Ten eerste beweren specialisten dat het systeem niet goed genoeg klinkt. Ten tweede is een nadeel dat het systeem kapot kan gaan. Dit kan zeker tijdens een concert ongewenste gevolgen hebben. Ten derde vergen dergelijke systemen veel onderhoud. Tenslotte hebben de verschillende aanbieders elkaar te hard beconcurrereerd door elkaars systemen in het verleden zwart te maken. Ondanks deze nadelen bieden elektro-akoestische systemen veel vrijheid in variatie, die met een mechanisch systeem onmogelijk gehaald kan worden. Tevens kan het systeem voor minder geld geïmplementeerd worden dan conventionele ingrepen en is het geheel architectonisch weg te werken. Voor multifunctionele zalen is het een ideale oplossing.



**Figuur 6.11.** Het Auditorium van de TU Delft. ([www.fd.tudelft.nl](http://www.fd.tudelft.nl))

In het Auditorium van de TU Delft, dat 1100 zitplaatsen telt, is een systeem toegepast met 36 microfoons en 60 luidsprekers. De nagalmtijd van de zaal is ongeveer 1,0 seconde als het systeem uit staat. Via een bedieningspaneel is de nagalmtijd in acht standen te variëren. Hiervan worden er volgens De Vries twee of drie gebruikt. Als er een orkest speelt, wordt de nagalmtijd verhoogd naar ongeveer 2 seconden, bij kooruitvoeringen zelfs naar 3 seconden. Als de zaal als spreekzaal gebruikt wordt, kan het systeem uitgeschakeld worden. Als basis achter het systeem is gekozen voor de globale akoestische eigenschappen van het Concertgebouw.

Hoewel sommige akoestische parameters verder zijn te optimaliseren dan in gewone zalen, blijkt dit toch zijn doel voorbij te schieten. Het menselijk gehoor is namelijk gewend aan een bepaalde ideale akoestiek. Als daar van afgeweken wordt, door te optimaliseren, wordt dit als onnatuurlijk ervaren, in plaats van als ideaal. Zo zou met ACS de aflopende nagalmtijdcurve in het hoge register teniet gedaan kunnen worden. Door de kleding van het publiek en de absorptie door de luchtdeeltjes wordt er hoogfrequent namelijk veel geabsorbeerd. Omdat dit door het menselijk gehoor als normaal wordt ervaren, zouden dergelijke zaken door een elektro-akoestisch systeem niet tegengewerkt moeten worden.

Om zo flexibel mogelijk te zijn, lijkt het de beste oplossing om een zaal zo droog mogelijk te ontwerpen, zodat het bereik en de mogelijkheden van het systeem zo groot mogelijk worden. De ervaring is echter dat een beetje natuurlijke galm in combinatie met het systeem het beste werkt. Voor zalen als het auditorium is een nagalmtijd van 1 seconde een goed uitgangspunt. De kunstmatige en natuurlijke galm dienen een *convolutie* te zijn en geen optelling. Als een zaal van nature te droog is, kun je te duidelijk horen waar de kunstmatige galm vandaan komt.

Een ander voordeel van een elektro-akoestisch systeem is dat de nagalmtijd en de luidheid minder afhankelijk van elkaar zijn. Door de luidsprekers goed op het publiek te richten kan het geluid versterkt worden, zonder dat de nagalmtijd toeneemt. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de absorberende werking van het publiek. In een kerk met houten banken, waar bijna geen mensen aanwezig zijn, werkt dit uiteraard niet. Het is tevens mogelijk om de nagalmtijd te verlengen zonder dat de luidheid toeneemt. Dit kan gedaan worden door de kunstmatige galm een lager beginniveau mee te geven, maar wel langer door te laten lopen.

### 6.3.5. De elektro-akoestische leslokalen van Wenger

Om het geluid en het galmveld natuurlijk over te laten komen, is van belang dat het kunstmatige goed met het natuurlijke wordt vermengd. Daarvoor is voldoende galm van de ruimte zelf, voldoende volume van de ruimte en voldoende afstand tot de luidsprekers nodig. In kleine ruimtes klinkt een elektro-akoestisch systeem daarom erg kunstmatig. Voor leslokalen lijkt het systeem een te sterk kunstmatig karakter te hebben. Tevens is er een hoge prijs aan verbonden.

Het bedrijf Wenger heeft dergelijke leslokalen toch op de markt gebracht, onder het motto: *let musicians, teachers and students switch the acoustics of their practice space as easily as changing the channel on a television*. Het systeem bevat per ruimte 2 microfoons en 8 luid-sprekers en creëert daarmee 10 standen: Practice room, Baroque Room, Medium Recital Hall, Large Recital Hall, Small Auditorium, Medium Auditorium, Large Auditorium, Cathedral, Sports Arena, System Off. Ondanks de te regelen hoeveelheid galm, is de relatie met de luidheid geheel verdwenen en klinkt het systeem daardoor erg kunstmatig. Je kan in een ruimte van 4 bij 3 bij 3 nu eenmaal geen concertzaal nabootsen. Als voorbereiding op de bouw van het Rotterdams Conservatorium is een testmodel van Wenger geplaatst in de oudbouw. De ruimtes kosten ongeveer 20.000 euro per stuk. De apparatuur in het testmodel was na een half jaar stuk en de ruimte werd als gewoon leslokaal ingezet.

## 6.4 Eisen aan variabele akoestiek voor leslokalen

Uit voorgaande paragrafen blijkt dat er een aantal aspecten van belang is voor het inpassen van variabele akoestiek. De grootte van de ruimte en de benodigde variatie zijn van invloed op de systeemkeuze. Tevens dient afgevraagd te worden of er echt variabele akoestiek nodig is. Soms is het beter om meer geld te investeren in een goede basisakoestiek. Voor ruimtes met sterk uiteenlopende functies met verschillende akoestische eisen, kan variabele akoestiek echter uitkomst bieden. Voor leslokalen en studieruimtes van conservatoria is dit het geval als er verschillende instrumentgroepen ingeroosterd worden in hetzelfde lokaal. Ook bij de afwisseling van solo- en ensemblespel in dezelfde ruimte, kan variabele akoestiek geprefereerd worden.

Niet alle bovengenoemde systemen zijn echter geschikt voor toepassingen voor in relatief kleine ruimtes als lesokalen en studieruimtes. Zoals in paragraaf 6.3.5 beschreven wordt, zal een elektro-akoestisch systeem veel te duur zijn en te kunstmatig klinken om te implementeren. Mechanische systemen, die veel ruimte nodig hebben, nemen veel functioneel vloeroppervlak weg. Het nadeel van gordijnen en doeken is dat ze vooral midden- en hoogfrequent goed absorberen en daardoor de bass-ratio van een ruimte aantasten. Deze systemen zijn echter gebruiksvriendelijk en begrijpelijk voor de gebruikers. Ze kunnen tevens gebruikt worden als zonwering of visuele scheiding. Door zware gordijnen en doeken toe te passen, is de aantasting van de bass-ratio kleiner.

Scharnierende panelen zijn ook een goede optie. Ze nemen weinig ruimte in beslag en kunnen uitgevoerd worden met een resonerende werking, zodat de bass-ratio intact gehouden kan worden.

Om de flexibiliteit te vergroten kunnen ook verplaatsbare elementen gebruikt worden, zoals bijvoorbeeld een verrijdbaar paneel, dat ook naar andere ruimtes gereden kan worden. Door de ene kant absorberend en de andere kant reflecterend uit te voeren, kan door het draaien van de panelen de akoestiek aangepast worden.

Door een systeem meer te integreren met bijvoorbeeld het wandsysteem of de inrichting van een ruimte, ontstaan nieuwe variabele akoestische mogelijkheden. Kastdeuren kunnen bekleed worden met akoestisch materiaal, tafels en stoelen kunnen uitgevoerd worden als resonatoren. Door kasten en schuifsystemen met de wanden van het lokaal te integreren kunnen verschillende akoestische parameters aangepast worden. Bij het ontwikkelen van dergelijke oplossingen moet de gebruiksvriendelijkheid voorop gesteld worden. Als gebruikers immers de werking van een systeem niet begrijpen, zullen ze het niet gebruiken. Door een handleiding toe te voegen of regelmatig instructies te geven, kunnen docenten en studenten gestimuleerd worden om systemen te gebruiken.

Van tevoren navraag doen bij de gebruikers levert inzicht op over het belang van de variabele akoestiek. Veel gebruikers zullen een voorkeur uitspreken voor de mogelijkheid om de akoestiek te kunnen variëren. Toch zullen niet al deze gebruikers de voorzieningen daadwerkelijk gaan gebruiken. Ook is het aan te bevelen in kaart te brengen wat de akoestische eisen per gebruikersgroep zijn.

Bij het CvA is in het ontwerp voor de lokalen een duidelijke indeling gemaakt. Hierdoor bleek variabele akoestiek overdreven. Wel wordt de mogelijkheid geboden om de akoestiek per semester aan te passen: als er aanpassingen in de akoestiek gewenst worden of als er een andere gebruiker in een bepaalde ruimte komt.

#### Referenties:

[1] [www.acs-bv.nl](http://www.acs-bv.nl)





## 7. Akoestiek tussen de oren

*Het luisteren naar muziek wordt vaak gekoppeld aan gemoedstoestanden. Muziek bij een film versterkt de kracht van de beelden. Verschillende muzieksoorten worden aan andere stemmingen gekoppeld. Het meest basaal is het verschil tussen majeur (vrolijk) en mineur (somer). In dit hoofdstuk wordt aandacht besteed aan de subjectieve ervaring van muziek, de vertaalslag naar objectieve parameters en de resultaten uit een opgezette enquête over dit onderwerp.*

### 7.1 Psychologie in de akoestiek

De fysisch opgewekte klanken worden door onze hersenen gekoppeld aan gevoelens. Ook de ervaring van muziek door musici heeft een sterke subjectieve basis. Musici denken niet in de lengte van nagalmtijd en absorptiecoëfficiënten, maar in *animato* (levendigheid), *portato* (gedragen) en *perdendosi* (wegstervend in toonsterkte).

Om wensen van musici goed te kunnen vertalen van subjectief naar objectief, moet de psychologie van materialen en invloeden niet onderschat worden. Smaak speelt bij de ervaring van muziek een sterke rol. Ook gewenning heeft veel invloed op de ervaring van de klanken. Als een musicus zijn instrument altijd in een bepaalde ruimte bespeeld zal een andere ruimte vreemd klinken. De nieuwe ruimte zal vergeleken worden met de oude. Als de eerste een droog karakter heeft zal de andere als galmend worden ervaren. Ook al is dat nog een relatief droge ruimte. Een andere musicus, die gewend is aan een meer galmende ruimte, zal de betreffende ruimte juist als droog ervaren.

Musici plaatsen de ervaring van de muziek dus in een kader van gewenning. De omkadering verschilt per musicus. Men vergelijkt de klank met de verwachte klank. Als deze niet overeenkomen vraagt men zich af hoe dit komt. Men zal hiervoor een oorzaak aan willen wijzen. Zo ook de zangeres uit het volgende voorbeeld. Zij staat voor aanvang van een big band optreden op een binnenplaats, de Beestenmarkt in Delft. Zij gaat er vanuit dat het hier niet zal galmen, aangezien ze zich in de buitenlucht bevindt. Bij de soundcheck vraagt ze de geluidsman om de hoeveelheid galm, die wel uit een kastje moet komen, terug te draaien. De geluidsman vertelt haar dat er geen galm wordt toegevoegd, en dat de galm door de omliggende bebouwing wordt veroorzaakt. Een binnenplaats is in feite een zaal met een absorberend plafond. Deze heeft dus wel degelijk baat bij de reflecties die van de harde gevels afkomen. In positieve en in negatieve zin.

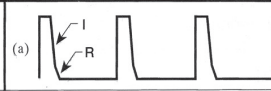




Psycho-akoestici verrichten onder andere onderzoek naar de subjectieve ervaring van akoestiek. Veelal is dit gericht op de zaalakoestiek. Zo hebben zij ontdekt dat licht vertraagde geluiden, die ons van opzij bereiken een aangenaam subjectief effect teweeg brengen. Dat effect staat bekend als *ruimtelijke impressie*. De ruimtelijke impressie is aansprakelijk voor het gevoel, dat men in een concertzaal door geluid is omgeven.<sup>1</sup> De vraag is in hoeverre dergelijke aspecten ook voor een kleinere ruimtes een rol spelen.

### 7.2 Van subjectief naar objectief

Een van de grootste akoestici, die veel onderzoek heeft gedaan naar de subjectieve ervaring in concertzalen is Leo Beranek. Hij heeft een puntenschaal geformuleerd om zalen akoestisch te beoordelen aan de hand van subjectieve waardering, fysisch-akoestische parameters en bouwkundige eigenschappen. Daarvoor heeft hij achttien termen gedefinieerd.<sup>2</sup> Diemer de Vries heeft in zijn dictaat Ruimteakoestiek daar elf termen uit geselecteerd om deze te koppelen aan fysische parameters, gewenste waarden en bouwkundige eisen. Op de volgende pagina wordt zijn definitie gegeven voor deze elf termen.<sup>3</sup>

Liveness:	het <i>meeklinken</i> van een zaal, de subjectieve perceptie van galm
Warmth:	de <i>warmte</i> van het geluid, waarin de aanwezigheid van lage tonen een belangrijke rol speelt.
Brilliance:	de <i>helderheid</i> van de muziek, waarin de aanwezigheid van hoge tonen een belangrijke rol speelt.
Definition:	te omschrijven als <i>muziekverstaanbaarheid</i> , de mate waarin opeenvolgende geluiden ook afzonderlijk hoorbaar zijn.
Spatial impression / Envelopment:	de mate waarin men de muziek als <i>ruimtelijk</i> ervaart, zich <i>omspoeld</i> voelt door het geluid.
Balance en Blend:	de mate waarin de klanken van de diverse instrumenten met elkaar <i>in evenwicht</i> zijn (geen <i>overstemming</i> van strijkers door blazers e.d.) en zich met elkaar <i>vermengen</i> .
Loudness:	luidheid, subjectief ervaren sterkte van het geluid.
Uniformity:	de mate waarin <i>de akoestiek</i> en met name de <i>loudness</i> over de hele ruimte van gelijke kwaliteit is.
Dynamich range:	het waarneembare luidheidsverschil tussen luide en zachte passages.
Ensemble:	het gemak waarmee musici elkaar kunnen horen en, daardoor, met elkaar kunnen samenspelen.
Attack / Support:	de mate waarin de musicus zich <i>gesteund</i> voelt door het meeklinken van de zaal.

Naast de onderlinge verhoudingen van deze parameters is ook het tempo van de muziek belangrijk voor de ervaring. In figuur 7.1 heeft Beranek de invloed van de nagalmtijd en de verhouding van de luidheid van het vroege geluid ten opzichte van het galmveld voor snelle en langzame muziek naast elkaar gezet. De horizontale definitie, de muziekverstaanbaarheid, is hiervan afhankelijk. Verschillende muziekstijlen verlangen een andere definitie. Over het algemeen zal lichte en moderne muziek een duidelijkere definitie verlangen dan klassieke muziek, zeker als daar de nadruk ligt op harmonische patronen.

		Acoustical Conditions		Notes Played Slowly		Notes Played Fast	
		Reverberation Time	Ratio of Loudness of Early Sound to Reverberant Sound	Music-Acoustic Results	Definition and Fullness of Tone	Music-Acoustic Results	Definition and Fullness of Tone
Tones of Identical Loudness	Short	Large	(a)		High definition Negligible fullness of tone	(b)	High definition Negligible fullness of tone
	Long	Medium	(c)		High definition Some fullness of tone	(d)	High definition Some fullness of tone
	Long	Small	(e)		Medium definition High fullness of tone	(f)	Low definition High fullness of tone
Tones of Different Loudness	Long	Medium	(g)		High definition Some fullness of tone	(h)	High definition Some fullness of tone
	Long	Small	(i)		Low definition High fullness of tone	(j)	Very low definition High fullness of tone



**Figuur 7.1.** Relatie tussen het tempo van de muziek, de nagalmtijd en de luidheid. (Beranek, 1996)

Er is door meerdere onderzoekers gekeken naar de ervaring van reflecties door de luisteraar. Zo stelde Berkley dat er voor het ervaren van reflecties naar twee belangrijke vragen gekeken moet worden. Wanneer is een reflectie waarneembaar en waar ligt de grens? En wanneer wordt een reflectie als storend ervaren?<sup>4</sup> De reflecties voegen loudness, sound quality, liveness en body aan direct geluid toe. Ons gehoor is minder gevoelig voor echo's in muziek dan bij spraak. De richting van de reflecties speelt bij muziek wel een grotere rol.

Veel onderzoeken zijn gebaseerd op de akoestiek van concertzalen. In dit onderzoek wordt er juist ook gekeken naar kleinere ruimtes. Sommerville deed onderzoek naar geluidsstudio's. Hij trachtte een relatie te leggen tussen drie elementen: de gemiddelde nagalmtijd, de variatie van de nagalmtijd over de frequentie en de variatie in het uitsterven van enkele tonen. Hiervoor stelde hij een model op. Voor de kleinere studio's bleek dat er een slechte correlatie werd gevonden om subjectieve data aan objectieve data te koppelen.<sup>5</sup> Een goed model voor het vertalen van de subjectieve ervaring naar objectieve zaken werd vooralsnog niet gevonden.

### 7.3 De enquête

Om meer inzicht te verkrijgen over subjectieve aspecten bij het bespelen van een instrument in kleinere ruimtes is gekozen een enquête op te zetten. Deze enquête is op het internet geplaatst en vooral door amateurmuzikanten ingevuld. Al was de link naar de enquête ook al snel beland bij studenten van het Utrechts Conservatorium en een dirigent van een harmonieorkest in Oostvoorne. Uiteindelijk hebben 65 respondenten de enquête ingevuld. De enquête is te vinden in bijlage B van dit verslag. De resultaten uit de enquête hebben als hoofddoel inzicht te verkrijgen over het formuleren van vragen voor de testen met docenten en studenten.

In de enquête wordt de respondent in eerste instantie gevraagd naar de ruimteakoestische aspecten van de ruimte waar het instrument over het algemeen bespeeld wordt. Veelal zijn dit slaap- en woonkamers van vergelijkbare grootte van de leslokalen en studieruimtes van het Conservatorium van Amsterdam. Hierna wordt er verder ingegaan op de gewenste ruimteakoestiek. Wat vindt men belangrijk aan een ruimte en aan welke ruimtes en eigenschappen geeft men de voorkeur? Tevens wordt er gevraagd hoe men tegen absorptiepanelen aankijkt. De enquête wordt afgesloten met de beoordeling van acht van Beraneks akoestische parameters. De respondenten wordt gevraagd in hoeverre zij de verschillende parameters belangrijk vinden. Hieronder zullen de resultaten van de enquête worden besproken.

De 65 respondenten zijn ingedeeld in vier groepen: bespelers van akoestische instrumenten (39), elektrisch versterkte instrumenten (18), zowel akoestisch als elektrisch versterkt (3) en drummers (5). Bij de verschillende vragen is gekeken of er verschillen tussen deze groepen te vinden zijn. Hier is voornamelijk gekeken naar verschillen tussen elektrisch versterkte en akoestische instrumenten.

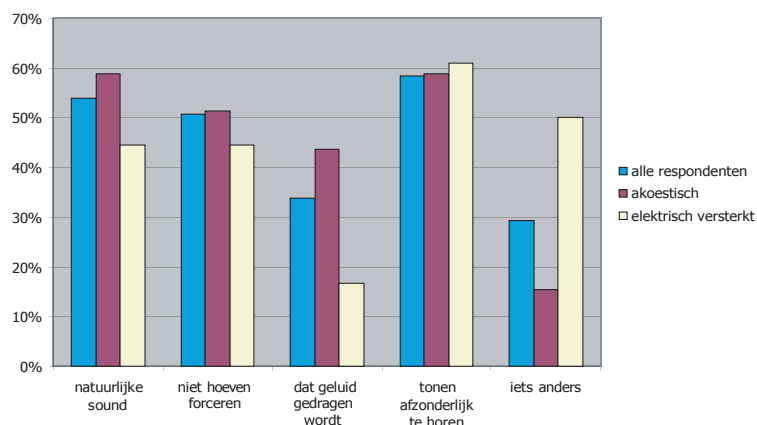
De respondenten is gevraagd of ze vanwege de akoestiek op een bepaalde positie binnen de repetitieruimte gaan staan. Bij de bespelers van akoestische instrumenten geven 20 respondenten aan hier rekening mee te houden tegen 19 personen die dat niet doen. De bespelers van elektrisch versterkte instrumenten houden daar minder rekening mee: 7 personen gaan bewust op een bepaalde positie staan, 10 doen dat niet en 1 persoon heeft geen mening. Redenen die hiervoor aangedragen worden zijn voornamelijk het ervaren van de reflecties en het verminderen van geluidsoverlast. De één wil juist steun hebben van harde wanden, de ander wil juist zo ver mogelijk van de wanden vandaan staan.

Over de wensen van variabele akoestiek wordt in paragraaf 6.1 verder ingegaan. In figuur 6.1 worden enquêteresultaten vergeleken met voorkeuren uit de gesprekken met de docenten en studenten. Van de respondenten heeft eenderde geen behoefte aan variabele akoestiek. Eenderde zou hier misschien gebruik van maken en eenderde lijkt het ideaal om de akoestiek te kunnen variëren. Er zijn geen grote verschillen te ontdekken tussen de vier groepen. Het is interessant om te zien dat de personen die geen behoefte hebben om te variëren, hun repetitieruimte het hoogst beoordelen, namelijk met een 7,2. Dit tegen een 6,7 van de *misschien*-groep en een

6,1 van de *ideaal*-groep. Hoe slechter de akoestiek, des te sterker heeft men de behoefte om de akoestiek te kunnen variëren.

Een volgende vraag was wat men akoestisch belangrijk vindt aan een ruimte. In onderstaande figuur 7.2 zijn de resultaten te zien. Elektrisch versterkte instrumenten hebben minder belang bij de support van een ruimte. Dit komt omdat de bespelers dit zelf kunnen regelen met de volumeknop op hun versterker. De punten die bij *iets anders* genoemd werden, zijn onder andere geen geluidsoverlast en niet te veel galm. Dit laatste heeft waarschijnlijk vooral te maken met de wens dat tonen afzonderlijk hoorbaar zijn.

**Figuur 7.2.** Belangrijke eigenschappen van een ruimte volgens de 65 respondenten.



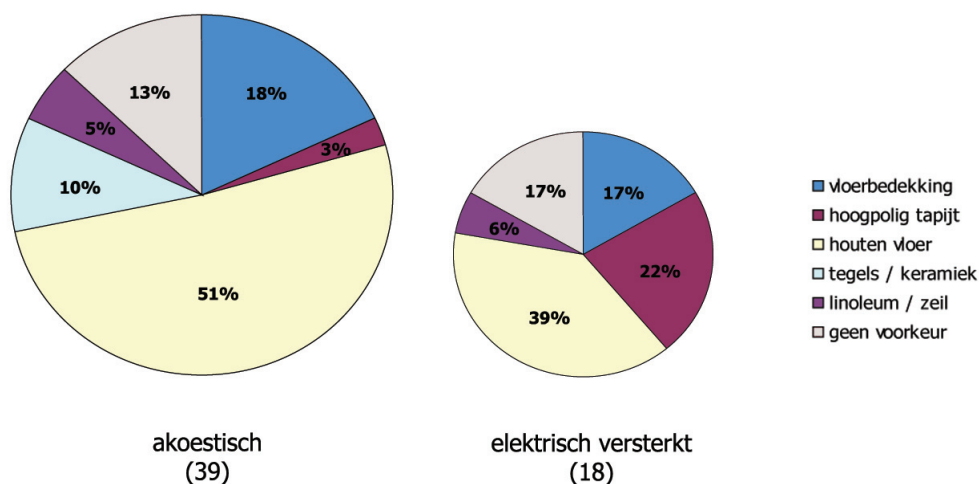
Uit de antwoorden van de respondenten op de vraag of zij zich bewust zijn van de akoestiek blijkt dat bespelers van akoestische instrumenten hier meer mee bezig zijn. Twee van de drie musici is zich (bijna) altijd bewust van de akoestiek, terwijl dit bij de elektrisch versterkte groep slechts één op de drie is. Dit kan verklaard worden doordat bespelers van akoestische instrumenten voor hun geluid meer afhankelijk zijn van de akoestiek.

In onderstaande tabel 7.1 is de beoordeling van verschillende soorten ruimtes te zien voor het bespelen van het instrument in die ruimte. De muziekzaal (300m<sup>2</sup>) scoort het hoogst. Ook hieruit is te zien dat de bespelers van akoestische instrumenten belang hebben bij support van de ruimte. De twee ruimtes met nauwelijks reflecties, de homestudio en de hei, worden lager beoordeeld dan bij de elektrisch versterkte instrumenten. De badkamer blijkt echt rampzalig als repetitieruimte. Globaal kan gesteld worden dat de ruimtes bij een oplopend volume hoger beoordeeld worden. Bij het gemiddelde van alle respondenten zijn naast de akoestische en elektrisch versterkte groep ook de drummers en de semi-akoestische groep meegenomen.

	<i>gemiddeld (65)</i>	<i>akoestisch (39)</i>	<i>elektrisch (18)</i>
eigen repetitieruimte	6,4	6,3	7,0
muziekzaal	6,9	6,8	6,7
woonkamer	6,5	6,3	6,6
homestudio	6,3	5,5	6,9
hei	5,5	4,8	5,5
studeerkamer	5,4	5,0	5,9
badkamer	3,1	3,1	2,8
gemiddeld	5,6	5,3	5,7

**Tabel 7.1.** Beoordeling van verschillende soorten ruimtes om in te repeteren door de respondenten van de enquête.

Wat betreft de voorkeur voor vloerbedekking is *hout* duidelijk het populairst. De andere harde vloeren *tegels / keramiek* en *zeil / linoleum* zijn maar bij weinigen favoriet. Bij de bespelers van elektrisch versterkte instrumenten is hout even populair als de gewone vloerbedekking en het hoogpolig tapijt bijelkaar. In paragraaf 12.2.6 wordt er verder ingegaan op de subjectieve ervaring van hout.



**Figuur 7.3.** Voorkeur van de respondenten voor soort ondergrond.

Driekwart van de ondervraagden geeft aan verschil te merken tussen het zelf in een ruimte spelen en het luisteren naar iemand in die ruimte. Ook driekwart stelt andere eisen aan de akoestiek voor solospel ten opzichte van ensemblespel. Dit percentage ligt voor de akoestische groep (85%) hoger dan voor de elektrische groep (67%). Er is ook gevraagd wat men voor de ensemblesituatie zou veranderen in vergelijking met de solosituatie. Daar konden verschillende mogelijkheden worden aangekruist. Er wordt niet te veel waarde aan deze uitkomsten gehecht. Respondenten konden zich namelijk niet altijd iets voorstellen bij *strategisch geplaatste reflecterende oppervlakken* en *meer diffusie, verspreiding van het geluid*. Dit bleek doordat het voorkwam dat deze mogelijkheden niet werden aangekruist, maar wel met eigen woorden werden ingevuld bij *iets anders namelijk*. Wel kan gesteld worden dat de algemene tendens is dat men voor meer volume zou kiezen, wat bleek uit de keuzes van *een groter vloeroppervlak in de ruimte* (80%) en *meer hoogte in de ruimte* (59%).

Vier op de vijf muzikanten is zich bewust van de absorberende elementen in een ruimte. Over het algemeen worden deze geassocieerd met 'stoffige' elementen, die vooral midden- en hoogfrequent absorberen. Dit blijkt de herkenbaarste vorm van absorptie. Elementen met een resonerende werking, die bedoeld zijn om lage tonen te absorberen, worden slechts door 1 van de 65 respondenten genoemd.

Tenslotte werd er gevraagd naar een beoordeling van de parameters van Beranek, die door Diermer de Vries zijn vertaald.<sup>3</sup> Hiervan moest men aangeven in hoeverre deze van invloed zijn op de akoestiek van een muziekleslokaal. Met een 0 werd aangegeven dat deze volgens de muzikant *totaal niet* van invloed is en met een 5 dat deze *toonaangevend* is. De uitkomsten zijn in onderstaande tabel te zien. Voor alle respondenten, voor de bespelers van akoestische instrumenten en voor de bespelers van elektrisch versterkte instrumenten is aangegeven hoeveel de beoordeling van de parameters afwijkt van het gemiddelde van die groep.

	4 groepen gemiddeld	gemiddelde afwijking	afwijking akoestisch	afwijking elektrisch
definition:	4,0	0,8	0,6	1,0
dynamic range:	3,5	0,3	0,2	0,3
warmth:	3,3	0,1	0,0	0,4
brilliance:	3,3	0,1	0,1	0,1
attack / support:	3,2	0,0	0,1	-0,5
liveness:	3,0	-0,2	-0,1	-0,3
spatial impression:	2,8	-0,4	-0,6	-0,1
loudness:	2,6	-0,6	-0,4	-0,8
gemiddeld:	3,2	3,2	3,3	3,0

**Tabel 7.2.** Beoordeling van akoestische parameters door de respondenten.

De definition wordt als belangrijkste parameter gezien. De loudness als minst belangrijke. Het is de vraag of dit in de praktijk ook zo blijkt te zijn. In kleine ruimtes waar instrumenten veel geluidsenergie produceren zal deze luidheid namelijk juist van invloed zijn op de ervaring van de akoestiek en bij de bepaling van de gewenste hoeveelheid absorptie. Bij de testen voor het conservatorium zal niet gekeken worden naar de invloed van de warmth en de brilliance. Deze kunnen namelijk niet gevarieerd worden in de testruimtes. Het is interessant te zien dat bij bespelers van akoestische instrumenten de koperblazers, de pianisten en de zangers de brilliance belangrijker vinden dan de warmth. Terwijl de houtblazers en de bespelers van akoestische gitaar de warmth juist meer van invloed achten op de akoestiek. Bij de elektrisch versterkte instrumentbespelers vinden de toetsenisten de brilliance belangrijker en de elektrische (bas)gitaristen de warmth.

#### 7.4 Opzet voor de testen

De opgedane kennis uit de enquête is meegenomen in de opzet van de testen. Voor dit testen werd besloten het aantal parameters, om de comfortabele akoestiek mee te beschrijven, samen te vatten tot vijf. Deze parameters worden hieronder toegelicht. Bij de testen met docenten en studenten is verder gevraagd naar de voorkeur voor vloerbedekking, variabele akoestiek, of het vervelender is om in een te droge of in een te galmende ruimte te spelen en naar de voor- en nadelen van de testruimtes.

De meest bekende parameter is de nagalmtijd. Deze geeft aan in welke tijd een geluid in een ruimte uitsterft. De nagalmtijd is afhankelijk van het volume van de ruimte en de aanwezige hoeveelheid absorptie. Door het toevoegen van *akoestische kussens* kan in de verschillende lokalen de gewenste nagalmtijd verkregen worden. De nagalmtijd is frequentie-afhankelijk. Dat wil zeggen dat deze op verschillende terts- en octaafbanden verschilt. In dit verslag wordt de nagalmtijd in de octaafband van 500 Hz als uitgangspunt genomen. In combinatie met een goede bass-ratio geeft dit een goed beeld van de ervaring van de hoeveelheid nagalm in een ruimte.

De luidheid zegt iets over de hoeveelheid geluidsenergie in de ruimte en is net als de nagalmtijd afhankelijk van het volume van de ruimte en de hoeveelheid aanwezige absorptie. Hoe meer geluid er geabsorbeerd wordt hoe lager de luidheid. Muziekinstrumenten kunnen veel geluidsenergie ontwikkelen in een ruimte. Lang spelen in een te luide ruimte is onprettig en vermoeiend. Daarentegen kunnen ruimtes soms zo droog zijn dat je het gevoel hebt dat je je instrument moet forceren.

Ruimteakoestiek begeeft zich in het spanningsveld tussen voldoende galm om comfortabel te kunnen spelen en voldoende absorptie zodat het geluid niet te luid wordt. Er moet voldoende articulatie zijn, maar je moet niet je instrument hoeven te forceren om muziek te maken. Dit spanningsveld ligt per instrument, per persoon, en per ruimte op een andere plaats. Ook zijn er verschillen voor samenspelen en solo spelen. Naast de nagalmtijd en de luidheid zijn er nog een aantal aspecten die van invloed zijn.

De bass-ratio omvat de verhouding tussen de nagalm in lage frequenties ten opzichte van hoge frequenties. In het huidige conservatorium is deze verhouding in de meeste lokalen enigszins uit verband. Vloerbedekking en de toegepaste absorptiematerialen werken vooral bij de midden en hoge frequenties, waardoor de nagalmtijd bij lage frequenties een stuk langer is. Het geluid klinkt daardoor doffer. Voor de nieuwbouw worden breedbandpanelen toegepast. Deze absorberen op alle frequenties ongeveer gelijk. Hierdoor wordt de nagalmtijdcurve veel egalier en is de bass-ratio beter in verhouding. Omdat de bass-ratio met het testen niet was te variëren zal deze verder buiten beschouwing worden gelaten. Het toepassen van breedbandabsorptie is een goed uitgangspunt.

In een concertzaal is het sterk van belang dat je het gevoel hebt dat je omspoeld wordt door het geluid. De ruimtelijkheid is daar erg belangrijk. In leslokalen is deze ruimtelijkheid minder van belang, maar een beetje ruimtelijk gevoel is voor het bespelen van een instrument wel aangenaam. Dit verschilt echter sterk per instrument. Een blokfluit heeft meer behoefte aan geluid van alle kanten dan een elektrisch versterkte basgitaar. Bij een goede verdeling van de absorptie door een ruimte is de ruimtelijkheid evenredig aan de nagalmtijd.

Bij de eigenschappen van een ruimte horen staande golven of resonantiepatronen. Als patronen sterk aanwezig zijn kleuren ze het geluid. Sommige frequenties worden versterkt waardoor het klankbeeld niet egaal is. Dit kan onaangenaam zijn en het bespelen van een instrument storen. De resonantiefrequenties zijn afhankelijk van de afmetingen van de ruimte. Bij een grote ruimte zoals een concertzaal ligt het kritische gebied van de frequenties buiten het menselijk gehoor. Hoe kleiner de ruimte wordt hoe sterker deze resonantiepatronen hoorbaar worden. Door het toepassen van voldoende absorptie op de juiste plaatsen kunnen de resonantiefrequenties afgezwakt worden. Ook het scheef zetten van wanden heeft een positieve uitwerking op de hoorbare resonantiefrequenties. Daarnaast helpt het scheef zetten tegen flutterecho's. Naast sterke resonantiepatronen kunnen ook harde reflecties hinderlijk zijn bij het maken van muziek. Grote oppervlakken van hard reflecterend materiaal kunnen het geheel ketsurig laten klinken. Deze harde reflecties kunnen verhinderd worden door het toepassen van diffusoren, die het opvallende geluid goed verspreiden in plaats van hard terugketsen. Dit is echter een dure ingreep en voor de toepassing in leslokalen overdreven. In het algemeen wordt het klankbeeld egalier met een toename van de hoeveelheid absorptie. Wel is het van belang deze goed over de ruimte te verspreiden.

#### Referenties:

- [1] [www.audio-muziek.nl](http://www.audio-muziek.nl)
- [2] L. Beranek, *Concert and opera halls: how they sound* (Acoustical Society of America, Woodbury, 1996)
- [3] D. de Vries, *Ruimteakoestiek* (Koninklijk Conservatorium, Den Haag, 1999-2000)
- [4] D. Berkley, *Normal listeners in typical Rooms - Reverberation Perception, Simulation, and Reduction*. In P. Rubak, *Coloration in room impulse responses* (Aalborg University Department of Communication Technology, 2004)
- [5] T. Sommerville, *An Empirical Acoustic Criterion* (*Acoustica* 3, 1953)





## 8. Het proces en de betrokken partijen

*Het bouwproces is een enerverende aangelegenheid, waarbij veel partijen betrokken zijn. Als student kreeg ik de mogelijkheid om bouwvergaderingen bij te wonen, te communiceren met het management en de architecten en advies uit te brengen voor de opdrachtgever. In dit hoofdstuk wordt behandeld wat de aanleiding was voor de opdracht, welke partijen betrokken waren, en wordt stilgestaan bij zaken die beter anders hadden gekund.*

### 8.1 De opdracht

Op kavel 5 van het Oosterdokseiland te Amsterdam zal in 2008 de nieuwbouw van het Conservatorium van Amsterdam staan. Het ontwerp voor het gebouw is gemaakt door Frits van Dongen van de Architecten Cie. Adviesbureau Peutz verzorgt het akoestisch advies. De ruimteakoestiek voor de muziekllokalen en studieruimtes werd gebaseerd op standaardlijsten met gewenste nagalmtijden voor bepaalde volumes. Het conservatorium was van mening dat er wel erg veel absorptie was geadviseerd en daarom werd besloten nader onderzoek te verrichten naar de benodigde hoeveelheid absorptiepanelen.

Het onderzoek naar de bepaling van de gewenste hoeveelheid absorptie voor de leslokalen en studieruimtes bleek goed te combineren met een afstudeerstage van een bouwkundestudent van de TU Delft bij adviesbureau Peutz. De student werd de mogelijkheid geboden onderzoek te verrichten naar de ruimteakoestische wensen van musici in de les- en oefensituatie. Het CvA kan dankzij dit onderzoek zeker zijn van de gewenste hoge kwaliteit voor de ruimteakoestiek van de nieuwbouw.



**Figuur 8.1.** Rendering van het Oosterdokseiland. Het nieuwe CvA is het tweede gebouw van rechts. ([www.oosterdokseiland.nl](http://www.oosterdokseiland.nl))

### 8.2 De rolverdeling

Bij de bouw zijn veel partijen betrokken. In deze paragraaf wordt toegelicht met welke partijen binnen het bouwproject contact was tijdens het afstudeeronderzoek.

#### 8.2.1 De opdrachtgever: het Conservatorium van Amsterdam

Vanuit het conservatorium worden de bouwvergaderingen bijgewoond door Jos Beek (zakelijk directeur), Ruud van Dijk (hoofd jazz), Hans Verburgt (hoofd klassiek), Elisabeth Groot (faculteitssecretaris) en Marc de Graaf (hoofd facilitaire dienst).

In de voorbereiding en tijdens het testen heb ik vooral contact met Elisabeth Groot. Zij is betrokken bij het opzetten van de vragenlijst voor de testen met docenten en heeft voor de testen tevens de docenten geworven. Voor praktische zaken omtrent het testen richt ik mij tot Marc de Graaf en de conciërges. Met hoofd roostering Ludo Wiegerinck heb ik veel contact wat betreft de planning van de testen. Bram Strijbis (programma coördinator jazz) schiet te hulp bij het regelen van studenten voor de testen. Ten slotte kan ik voor het ombouwen van de opstellingen van de panelen de hulp inroepen van een student.

### **8.2.2 Het bouwmanagement: Rienks Bouwmanagement**

De bouwmanager van het project en de voorzitter van de bouwvergaderingen is Bert Streefkerk. Ik heb vooral contact met zijn assistent Hans van Asperen. Dat gaat voornamelijk over de bouw van de testruimtes, de gefabriceerde testpanelen, bouwtekeningen voor de testruimtes en het uiteindelijke advies.

### **8.2.3 De architect: de Architecten Cie**

De projectarchitecten van de Architecten Cie voor dit project zijn Eric Thijssen (esthetiek) en Chris Hayman (organisatie). Met hen heb ik voornamelijk contact over de panelen. De slechte hanteerbaarheid van de grote panelen, het kromtrekken van de achterplaten en de gewenste verdeling van de panelen over de ruimte worden aan hen doorgespeeld.

### **8.2.4 De aannemer: Hillen&Roosen/de Nijs**

Het contact met aannemer Martin Witzel verloopt via het bouwmanagement.

### **8.2.4 Akoestisch advies: Adviesbureau Peutz**

Stagebegeleider Peter Heringa is de akoestisch adviseur voor het bouwproject. Met hem worden de akoestische overwegingen rond het testen besproken. Met Theo Scheers van de vestiging in Mook verloopt het contact omtrent de metingen in de nagalmkamer. Samen met Halit Kiliç worden de nagalmtijdmetingen in de testruimtes uitgevoerd.

## **8.3 De aandachtspunten van het proces**

Tijdens het bouwproces deden zich een aantal situaties voor die hieronder besproken worden.

### **8.3.1 De uitvoering van de testpanelen**

Met een aantal series testpanelen zijn metingen uitgevoerd in de nagalmkamer van Peutz in Mook. Er deden zich een aantal complicaties voor omtrent de samenstelling van de panelen. Bij de panelen die de Architecten Cie had laten maken, bleek de folie niet bevestigd te zijn aan het frame van het paneel. Voor de eerste test met panelen van de aannemer, werd slechts één klein paneel geleverd. Dit is te weinig voor een absorptiebepaling. Tevens bleek de folie niet het juiste gewicht te hebben en zat deze vol gaten. Bij een volgende serie was de folie juist te zwaar uitgevoerd. De daaropvolgende serie had de goede samenstelling, die vrijwel overeenkwam met de tekeningen uit het bestek.

Voor de testen was op de bouwvergadering besloten dat er 23 grote panelen (30,3 kg) en 46 kleine panelen (17,7 kg) gefabriceerd zouden worden. De panelen moesten ook *groot* uitgevoerd worden, omdat deze zeer waarschijnlijk de te fabriceren panelen voor de nieuwbouw zouden worden. Hier moest in ieder geval mee getest worden. Vooraf was al op de nadelen van deze panelen gewezen en bij het testen bleken de plafondpanelen eigenlijk niet te verwisselen te zijn door het grote gewicht en het ophangstelsel. Het testprogramma werd hierop aangepast. Het had mijn voorkeur gehad om met alleen kleine panelen te testen. Als er per se grote panelen moesten worden gefabriceerd om zeker zijn van de absorberende werking, waren zes panelen ook voldoende geweest voor een meting in de nagalmkamer.

### **8.3.2 *Het aanleggen van de elektra***

De aannemer heeft de testruimte *volgehangen* afgeleverd. De elektricien heeft een week later, in de schuifrichting van de panelen, de armaturen en bijbehorende kabelgoten aangebracht. Bij geplande nagalmtijdmetingen een paar dagen later bleek dat veel plafondpanelen niet verwisselbaar waren omdat de armaturen en de kabelgoten in de weg zaten. De metingen moesten worden geannuleerd en de elektricien moest terugkomen om de armaturen en kabelgoten grotere delen te verplaatsen. Achteraf was het beter geweest dat de schuifrichting van de panelen en de verlichting op tekening waren aangeleverd.

### **8.3.3 *Het regelen van de docenten en studenten***

De testruimtes waren iets later dan gepland gereed om in te testen. Het ontbrak daarna echter nog aan docenten en studenten om mee te testen. Het bleek erg moeilijk deze te werven. Tevens kon vanwege overspraakproblemen met de naastgelegen lesruimte niet altijd gebruik gemaakt worden van de testruimte voor het leslokaal. Als docenten en studenten zich eerder beschikbaar hadden gesteld was het testprogramma sneller verlopen.



## 9. De ruimteakoestiek voor conservatoria

*Op conservatoria worden studenten opgeleid tot professionele musici. Aan de akoestiek van de leslokalen en studieruimtes van conservatoria worden hoge eisen gesteld. In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de akoestische voorzieningen die voor conservatoria worden getroffen. De bepaling van de hoeveelheid absorptie uit het eerdere advies wordt behandeld, een aantal referentieprojecten wordt besproken en er wordt gekeken naar de omgang met akoestische voorzieningen in de praktijk.*

### 9.1 Het Conservatorium van Amsterdam

Het Conservatorium van Amsterdam is na een aantal fusies uitgegroeid tot de faculteit 'muziek' van de Amsterdamse Hogeschool voor de Kunsten. In de jaren negentig is het Sweelinck Conservatorium (klassieke muziek) gefuseerd met het Hilversums Conservatorium (lichte muziek). Tegenwoordig behoort ook de Amsterdamse Popacademie tot de faculteit muziek van de AHK. Het hoofdgebouw, gevestigd aan de Van Baerlestraat, heeft twee dependances. De hoofdreden van de nieuwbouw is het capaciteitsprobleem. De 1100 studenten en 230 docenten zullen in 2008 verhuizen naar de nieuwbouw op het Oosterdokseiland. Op de nieuwe locatie ligt het conservatorium vlakbij Amsterdam CS en tevens op wandelafstand van het nieuwe Muziekgebouw aan 't IJ. De Beurs van Berlage is ook te voet te bereiken en met de komst van de noord-zuidlijn kan men in vijf minuten op het Concertgebouwplein staan.

Het conservatorium omschrijft zichzelf op hun site als '*het grootste en meest veelzijdige conservatorium in Nederland. Gelegen in een van de belangrijkste muzikale centra van Europa, op een steenworp afstand van het Concertgebouw, profiteert het CvA volop van het rijkgeschakeerde muziekklimaat. Daardoor is het conservatorium in staat studenten op te leiden tot veelzijdige musici op het hoogste niveau.*

Er zijn veel buitenlandse studenten, die op de goede naam van het CvA afkomen. Hoger onderwijs in lichte muziek staat in veel landen nog in de kinderschoenen, zodat ook veel jazz-studenten naar Amsterdam komen. Het CvA staat nationaal en internationaal dus hoog aangeschreven. Om het topniveau van docenten en studenten te kunnen handhaven worden zeer hoge eisen gesteld aan de akoestische kwaliteit van de leslokalen en studieruimtes.

### 9.2 Het akoestisch advies voor de nieuwbouw

Akoestisch advies voor leslokalen en studieruimtes van een conservatorium is onder te verdelen in drie stappen:

1. afmetingen + verhoudingen van ruimte
2. kwaliteit van de schil (de wanden)
3. akoestische ingrepen in ruimte

Vanwege de hoge eisen die het CvA stelt aan de akoestiek van de leslokalen en studieruimtes zijn deze strenger dan bij andere conservatoria. In verband met deze hoge eisen enerzijds en de daaruit voortvloeiende meerkosten van hogere verdiepingen anderzijds is in het ontwerp aangestuurd op een compromis. De verdiepingshoogte, en daarmee de volumes van de ruimtes, zijn over het algemeen geringer dan bij de huidige huisvesting. De volumes van de ruimtes zijn echter wel groter dan bij andere conservatoria. Naast voldoende volume om de instrumenten tot hun recht te laten komen zijn, in verband met de akoestiek, wanden schuin geplaatst en zijn bepaalde ruimtelijke verhoudingen aangehouden.

Voor de leslokalen en studieruimtes zijn lage achtergrondniveaus gewenst, terwijl er in naastgelegen ruimtes veel geluid geproduceerd kan worden. Dit vraagt om hoge geluidsisolatiewaarden van de wanden. Om contactgeluid te verhinderen zijn de ruimtes uitgevoerd als doos-in-doosconstructies.

Naast de afmetingen van een ruimte en de geluidsisolatie naar aangrenzende vertrekken is de afwerking van de wanden en de aanwezige hoeveelheid absorptie bepalend voor de kwaliteit van de akoestiek in die ruimte. De hoeveelheid absorptie werd in akoestische adviezen van Peutz bepaald aan de hand van lijsten met gewenste nagalmtijden voor instrumenten in ruimtes van een bepaalde grootte. Hieruit konden aan verschillende instrumenten factoren worden toegekend voor de bepaling van de hoeveelheid absorptie uitgaande van het vloeroppervlak. Bij deze methode werd voor veel verschillende instrumenten geen onderscheid gemaakt in gewenste nagalmtijd. Ook loopt de ontwerp-nagalmtijd niet gelijkmatig met de volumevergroting op, maar in sprongen. Eveneens wordt in deze methode geen rekening gehouden met de absorberende werking van de wanden, vloer en plafond en de inrichting. Hieronder wordt als voorbeeld het advies voor een baslokaal uitgewerkt. In hoofdstuk 11 wordt de opbouw en rekenmethode van het advies, dat gebaseerd is op de resultaten uit de twee testruimtes, uitgelegd.

#### *Voorbeeld absorptiebepaling voor baslokaal 04.07*

Het oppervlak van deze ruimte is  $25,2 \text{ m}^2$  en de hoogte  $3,5 \text{ m}$ . Dat betekent een volume van  $88,2 \text{ m}^3$ . Aangegeven is dat de nagalmtijd tussen de  $0,4$  en de  $0,8$  seconde moet liggen. Uit Sabine's nagalmtijdformule [2.2] kunnen we de hoeveelheid benodigde absorptie bepalen. Voor dit lokaal is dat:  $14,7 \text{ m}^2 / RT$ .

Dat betekent

voor  $RT = 0,40 \text{ s}$  à  $36,75 \text{ m}^2$  absorptie,

voor  $RT = 0,60 \text{ s}$  à  $24,50 \text{ m}^2$  absorptie,

voor  $RT = 0,80 \text{ s}$  à  $18,38 \text{ m}^2$  absorptie.

Aangenomen is dat de panelen een effectiviteit hebben van 95%.

$RT = 0,40 \text{ s}$ :  $36,75 / 0,95$  à  $38,68 \text{ m}^2$  absorptiepanelen.

$RT = 0,80 \text{ s}$ :  $18,38 / 0,95$  à  $19,35 \text{ m}^2$  absorptiepanelen.

Vervolgens is het gemiddelde van deze twee oppervlakken genomen:  $29,0 \text{ m}^2$ . Dit komt dus niet overeen met een tussenliggende ontwerp-nagalmtijd van  $0,60$  seconde, maar van  $14,7 / 29,0 = 0,51$  seconde.

Er is vanuit gegaan dat het houten frame van de absorptiepanelen ( $1,62 \text{ m}^2$ ) niet mee absorbeert, waardoor de panelen een effectief oppervlak hebben van  $1,36 \text{ m}^2$ . Dit betekent dat er in lokaal 04.07:  $29,0 / 1,36 = 21,3 = 21$  panelen nodig zijn.

Omdat de hoogte van de vertrekken en de ontwerp-nagalmtijd voor dergelijke lokalen op een bepaalde verdieping gelijk zijn, kan er een factor berekend worden, waarmee met het vloeroppervlak de benodigde hoeveelheid absorptie berekend kan worden. In dit geval is dat  $29,0 / 25,2 = 1,15$  x vloeroppervlak. Deze factor kan door de architecten in een Excel-bestand gekoppeld worden aan de verschillende ruimtes.

### **9.3 Referentieprojecten**

Kijken hoe andere conservatoria nieuwbouw hebben aangepakt kan veel inzicht opleveren voor de eigen nieuwbouw. Tijdens het ontwerpproces heeft het bouwteam van het CvA een bezoek gebracht aan een aantal conservatoria in binnen- en buitenland.

Voor dit onderzoek is er een bezoek gebracht aan de conservatoria in Rotterdam, Tilburg en Detmold.



### 9.3.1 *Rotterdams Conservatorium*

In Rotterdam is in de leslokalen en studieruimtes geen variabele akoestiek toegepast. In de muziekzaal en ensemblezaal wel. De studieruimtes waren eerst in de kelder gepland, maar zijn uiteindelijk boven in het gebouw gesitueerd. Het zijn onprettige kleine ruimtes van 2 bij 2 meter met een hoogte van ruim 2,5 meter. De toegepaste absorptie baffles in de leslokalen zijn vaak beschadigd, al dan niet door vandalisme. Ook het punt vochtigheid is aangehaald. Doordat het gebouw in bepaalde ruimtes dermate droog was, zijn er een aantal contrabassen gebarsten. In de nieuwbouw bleek dat de docenten erg moesten wennen aan het nieuwe gebouw en de nieuwe akoestiek. Dit werd in het begin nog versterkt doordat er geen vaste lokalen waren toegewezen.



**Figuur 9.1.** Akoestische panelen in de leslokalen van het Rotterdams Conservatorium.

### 9.3.2 *Conservatorium Tilburg*

Bij het Conservatorium Tilburg zijn ten behoeve van de absorptie in eerste instantie enkel systeemplafonds toegepast in de leslokalen. Wegens klachten zijn hier absorptiepanelen van houtwolcementplaat op de wanden aan toegevoegd, zoals te zien is in figuur 9.2. Sommige docenten hebben ook gevraagd om gordijnen, zodat een aantal lokalen ook met variabele akoestiek is uitgerust. De studieruimtes staan via een glastrook in visueel contact met de gang. In de tegenover gelegen kantoren is een trompetstudent goed te horen. Directeur Jan Wirken zegt zich hier niet aan te storen en vat het op als de levendigheid van de school. Met roostering wordt er wel rekening gehouden dat bepaalde instrumenten niet naast elkaar zitten in de leslokalen. 28 studieruimtes op 475 studenten is voldoende.



**Figuur 9.2.** Akoestische panelen in de leslokalen van het Conservatorium Tilburg.

### 9.3.3 Schlagzeugschule Detmold

In Detmold hebben de diverse ruimtes van de Schlagzeugschule een verschillende akoestiek. Slagwerkdocent Peter Prommel dacht mee over de opzet van de ruimtes. Het verschillende materiaalgebruik in de ruimtes maakt de ene ruimte geschikter voor niet-melodisch slagwerk, terwijl een andere ruimte beter is voor melodische slagwerk als marimba en vibrafoon. In de ensemblezaal kan de akoestiek enigzins gevarieerd worden met gordijnen. Door het hele gebouw zijn geperforeerde gipsplaten en kasten toegepast.

**Figuur 9.3.** Akoestische voorzieningen in leslokaal van de Schlagzeugschule in Detmold.

**Figuur 9.4.** Geperforeerde gipsplaten in lokaal van de Schlagzeugschule in Detmold.



### 9.3.4 Overige conservatoria

Bij het Conservatorium van Parijs zijn in het ontwerp gordijnen toegepast in de leslokalen om de akoestiek aan te kunnen passen. Deze zijn later echter vervangen door andere akoestische voorzieningen in verband met de hoge onderhoudskosten en de kwetsbaarheid. Er is veel parket in het gebouw toegepast en de studieruimtes zijn erg klein. Er wordt veel schade veroorzaakt aan de akoestische voorzieningen door het rijden met vleugels, maar ook door vandalisme.

In Keulen valt de kwaliteit van de akoestiek van de lesruimtes tegen door de geringe hoogte van slechts 2,8 meter. De studieruimtes zijn benauwend klein. En de toegepaste vloerbedekking met rubberen noppen schijnt een ramp te zijn.

De lesklokken in Göteborg worden beter beoordeeld. Er is sprake van wisselende absorptie en een welving in het plafond. De vloer is bedekt met linoleum. De studieruimtes hebben dezelfde eigenschappen en zijn uitgevoerd met een gordijn rondom. Echter maken de nogal extreme afmetingen van 1,9 bij 4,7 bij 3,2 meter de ruimte niet prettig bespeelbaar. Zeker niet voor luide instrumenten.

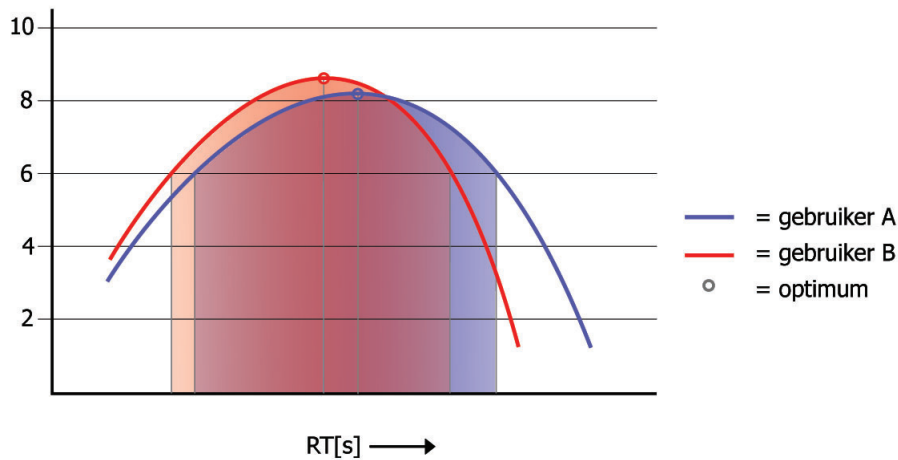
In Kopenhagen is in de leslokalen variabele akoestiek toegepast door middel van panelen met een absorberende en een reflecterende zijde. Het plafond is bekleed met vezelplaat en wanden zijn scheef gezet. De ruimtes zijn uitgerust met een houten vloer, die te snel slijt. De studieruimtes hebben een droge akoestiek

## 9.4 Hoe gaat men om met de akoestiek?

Akoestiek is een technisch en moeilijk vakgebied. Veel fysische aspecten spelen hierin een rol, wat de akoestiek lastig te voorspellen maakt. Ook het interpreteren van akoestische parameters is niet eenvoudig. Daarbij speelt ook de vraag wat een musicus belangrijk vindt. Hoe is een ruimte akoestisch te optimaliseren en hoe is dat terug te zien in objectieve gegevens? Gebruikers denken niet in nagalmtijdcurves, maar in subjectieve termen. Drummer Joost Lijbaart omschreef de akoestiek van de huidige drumlokalen 1.47 en 1.48 in het CvA als: '*een goede akoestiek, al mag de klank soms wel wat egaler*'. In de nagalmtijdcurve is te zien dat er tussen de verschillende tertsbanden wat sprongen in de waarden zitten. Door breedbandabsorptiepanelen toe te passen zal de curve meer afgevlakt worden en zal Lijbaart de klank waarschijnlijk egaler ervaren. De vertaalslag speelt voor de bepaling van de gewenste akoestiek een belangrijke rol. Voor de gebruikers draait het erom dat een ruimte goed klinkt. Wellicht is een belangrijker uitgangspunt

dat de akoestiek de lessen in eerste instantie niet verstoord.

Als de gewenste akoestiek uitgedrukt wordt in de nagalmtijd, kan deze voor een bepaalde ruimte voor een bepaald instrument uitgezet worden tegen de beoordeling van de akoestiek. In figuur 9.5 is dit geschematiseerd. Er is van twee fictieve gebruikers uitgezet met welk cijfer ze verschillende nagalmtijden in een bepaalde ruimte zouden beoordelen.



**Figuur 9.5.** Invloed van smaak van twee musici met hetzelfde instrument in dezelfde ruimte.

De figuur toont dat de twee gebruikers niet dezelfde optimale nagalmtijd prefereren. Dit smaak-effect maakt het definiëren van de gewenste akoestiek voor een bepaald instrument in een bepaalde ruimte daarom lastig. De ene musicus vindt een wat drogere ruimte fijn, een ander geeft de voorkeur voor aan net wat meer galm. Ook zal de ene gebruiker een bepaalde akoestiek met een hoger cijfer beoordelen. Aan de steilheid van de curves is tevens af te lezen of de gebruiker het vervelender vindt als de ruimte aan de galmende kant is of juist aan de droge kant. Hoe sneller de curve afloopt, des te slechter wordt de akoestiek beoordeeld. Gebruiker B speelt in dit geval liever in een iets te droge ruimte dan in een iets te galmende ruimte. We zouden een beoordeling van 6 of hoger kunnen opvatten als niet storend. Het overlappende gebied beschrijft de akoestiek die door beide gebruikers als niet storend zal worden ervaren. De grenswaarden van dit gebied kunnen als uitersten voor de nagalmtijd gezien worden voor deze twee gebruikers in deze ruimte. Hoe groter men de steekproef maakt, des te kleiner het overlappende gebied zal worden. Op deze manier kan in kaart gebracht worden waar het optimum voor een bepaald instrument in een bepaalde ruimte ligt en hoe groot de bandbreedte van de smaak door de verschillende gebruikers is. Te verwachten valt dat de verschillen in smaak binnen een groep bespelers van een bepaald instrument minder groot is dan tussen bespelers van verschillende instrumenten.

De invloed van smaak op de beoordeling van akoestiek kan vergeleken worden met de beoordeling van smaak van eten en drinken. Bijvoorbeeld met die van aanmaaklimonade. De een heeft een voorkeur voor een iets waterige variant, de ander voor een zoetere variant. De een zal het drankje maximaal met een 7 beoordelen, terwijl de andere zijn optimum van verhouding water en limonade zal beoordelen met een 9. Pas als de smaak te veel afwijkt van het optimum zal men actie ondernemen om er of water of limonade aan toe te voegen, zodat de smaak in het aanvaardbare gebied komt.

Als de ruimteakoestiek buiten het aanvaardbare gebied komt, dat wil zeggen dat de musici bij het spelen gestoord worden door de akoestiek, is het minder vanzelfsprekend dat men in actie komt. Musici lossen dergelijke problemen vaak niet of op een passieve manier op. In plaats van het toevoegen of verwijderen van absorptie, zodat de akoestiek binnen het aanvaardbare gebied komt te liggen, zullen zij de akoestiek aanvaarden of misschien vragen om in een ander lokaal te worden geroosterd. Daarmee wordt het probleem van de ongewenste akoestiek dus niet aangepakt.

Dit hangt samen met het feit dat akoestiek een ingewikkeld vakgebied is en er zelfs bij topmusici vaak weinig kennis van zaken is. Men kan je volgen bij de uitleg van de werking van absorptie om de akoestiek aan te passen, maar zal niet zelf naar de facilitaire dienst stappen om te vragen om meer of minder absorptie. Gelukkig zijn er in het conservatorium ook voorbeelden van

lokalen waar door docenten absorptiemateriaal is toegevoegd om de akoestiek te verbeteren. Toch bleken veel docenten over veel lokalen ontevreden zonder dat ze daar bij de facilitaire dienst hun beklag over hebben gedaan. Dat kan meerdere redenen hebben. Wellicht is het niet bij de gebruikers opgekomen dat er een oplossing voor het probleem is. Misschien vindt men het probleem niet storend genoeg om er wat aan te doen. Of men kiest voor de passieve rooster-technische oplossing.

Wat je moet doen om de smaak van de limonade te verbeteren ligt voor een ieder voor de hand. Bij de ruimteakoestiek ligt dit wat gecompliceerder, waardoor de kans dat er actie wordt ondernomen kleiner is. Ook bestaan er soms onjuiste vooroordelen. Een docent vertelde dat de lokalen met een scheef plafond allemaal een slechte akoestiek hadden. Hij wees de schuine plafonds aan als boosdoener. Dat de ruimtes in dit geval te galmend zijn, komt echter door een gebrek aan absorptiemateriaal in de ruimtes, wat ook een overeenkomst is tussen de ruimtes.

In de grafiek is ook te zien dat de gebruiker het vervelender vindt of een ruimte te galmend is of juist te droog. In de gesprekken met de docenten bleek dit te verschillen per instrumentbespeler. Over het algemeen vindt men het minder storend om in een te droge ruimte te spelen. Ondanks dat dit wat speelplezier wegneemt, is het vaak minder erg om in een iets te confronterende akoestiek les te geven dan in een te luide akoestiek met te veel galm. Al ligt dit voor fluit bijvoorbeeld anders. In een te droge ruimte moeten fluitisten hun instrument gaan forceren wat het bespelen van het instrument bemoeilijkt. Zij preferen in dit geval daarom een te galmende ruimte.

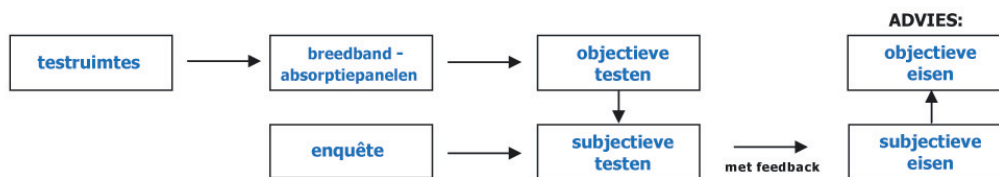
Een ander discussiepunt is of het goed is om in een relatief droge akoestiek les te hebben. Sommigen beweren dat het goed is hier te spelen om zo meer geconfronteerd te worden met fouten. Als er dan uitgevoerd wordt in een ruimte met meer galm zal het een stuk voller klinken en kan er lekkerder gespeeld worden. Het repeteren in een confronterende akoestiek zal het eindresultaat ten goede komen. Anderen beweren dat het juist beter is om in een goede gewenste akoestiek te repeteren. Als men uit gaat voeren in een mindere akoestiek dan zal men de klank in het hoofd hebben en deze trachten na te bootsen. Waarschijnlijk geldt dit laatste vooral voor ensembles. Ook zijn er verschillen tussen de eisen voor solo spel en ensemble spel. Bij ensemble moet de klank van de verschillende instrumenten goed vermengd worden. Dit wordt wel aangeduid met de *blend*. Ook moeten instrumenten afzonderlijk nog goed te horen zijn, oftewel de verticale definitie moet voldoende zijn. Er zijn twee soorten definitie: veelal wordt de horizontale definitie bedoeld als over definitie wordt gesproken, hiermee wordt aangeduid hoe goed verschillende op elkaar volgende tonen zijn te onderscheiden. Voor een goede ensemble-akoestiek is dus belangrijk dat de verticale definitie goed is, zodat tussenstemmen ook goed te horen zijn.

## 10. Het onderzoek in de testruimtes

*Bij het beoordelen van de akoestiek spelen subjectieve ervaringen een belangrijke rol. Om deze in kaart te brengen voor de verschillende instrumenten en ze te vertalen naar een objectief model, zijn er twee testruimtes gebouwd. In dit hoofdstuk wordt de testopzet toegelicht en worden de resultaten van de testen met de docenten in het leslokaal en de testen met de studenten in de studieruimte besproken.*

### 10.1 De opzet van de testen

Met de objectieve metingen van de verschillende varianten in de twee testruimtes (hoofdstuk 4) is in kaart gebracht hoe de verschillende akoestische milieus in cijfers uit te drukken zijn. Vervolgens moest er een testopzet gemaakt worden om te onderzoeken hoe de subjectieve ervaring van de verschillende varianten is. Hierbij werden de uitkomsten van de enquête meegenomen. Het doel van de testen was te achterhalen welke akoestiek door docenten (om in les te geven) en studenten (om in te spelen) als meest comfortabel wordt geacht. De verschillen tussen instrumenten, solospel en ensemblespel dienden ook onderzocht te worden.



**Figuur 10.1.** De opzet van het onderzoek in schema.

De vraag is wat de invloed van verschillende opstellingen op het ervaren van de akoestische parameters is. De hoeveelheid galm is in de nagalmtijd uit te drukken. Maar wanneer is deze hoeveelheid galm aangenaam? En is het luidheidsniveau dan niet te hoog? Hoe worden de reflecties ervaren? Wanneer is de akoestiek zo comfortabel dat je ongestoord het instrument kan bespelen? Is het van belang dat je omspoeld wordt door het geluid? Of is dat eerder een eis voor een concertzaal? Is de harde vloer, zoals in het bestek wordt voorgeschreven, inderdaad prettig?

Om de antwoorden op deze vragen te vinden wordt er getest met de toekomstige gebruikers, de docenten en studenten van het Conservatorium van Amsterdam. Door het volumeverschil van de testruimtes kon ook onderzocht worden hoe volumeverandering invloed heeft op het ervaren van de akoestische parameters. De twee testruimtes bieden de mogelijkheid om veel akoestische zaken te onderzoeken. Het hoofddoel van de testen was echter het bepalen van het aantal panelen voor de verschillende ruimtes van de nieuwbouw van het conservatorium. Voor betrouwbare conclusies is het van belang om voor het testen een grote steekproef te nemen bij het veranderen van slechts één parameter. Van tevoren was echter al duidelijk dat het onmogelijk was om van één instrument genoeg participanten voor de testen te krijgen. Als men bijvoorbeeld de invloed van smaak van bespelers van één soort instrument wil onderzoeken, zou dat betekenen dat er geen andere parameters veranderd mogen worden. Omdat het onderzoek niet grootschalig opgezet kon worden, moest genoeg worden genomen met onderzoeksresultaten die een globaal karakter zouden hebben. Het belangrijkste uitgangspunt voor de testen was de bepaling van de hoeveelheid absorptie per instrument. Hiervoor moest voor verschillende volumes een voorspelling worden gemaakt.

Met deze wetenschap werd in september een testopzet gemaakt. Het idee was om per instrument met één docent en vier studenten een testprogramma met drie varianten te doorlopen in de testruimte van het leslokaal (zie figuur 10.2). Het onderzoek in de studieruimte zou met studenten plaatsvinden.



**Inleiding: 10 min**

- \* korte uitleg over het doel van de test
- \* invullen vragenlijst over subjectieve aspecten van ruimteakoestiek

**Variant 1: 30 min**

- \* spelen van etude (door alle studenten)
- \* spelen van voordrachtstuk (door alle studenten)
- \* spelen van specifieke passages in bepaalde tempi (door alle studenten)
- \* spelen van ensemblestuk (alle studenten tegelijk)

**Ombouwen: 15 min**

- \* studenten en docent vullen beoordelingslijst over variant 1 in

**Variant 2: 30 min**

- \* spelen van etude (door alle studenten)
- \* spelen van voordrachtstuk (door alle studenten)
- \* spelen van specifieke passages in bepaalde tempi (door alle studenten)
- \* spelen van ensemblestuk (alle studenten tegelijk)

**Ombouwen: 15 min**

- \* studenten en docent vullen beoordelingslijst over variant 2 in

**Variant 3: 30 min**

- \* spelen van etude (door alle studenten)
- \* spelen van voordrachtstuk (door alle studenten)
- \* spelen van specifieke passages in bepaalde tempi (door alle studenten)
- \* spelen van ensemblestuk (alle studenten tegelijk)

**Slot: 10 min**

- \* studenten en docent vullen beoordelingslijst over variant 3 in
- \* korte evaluatie van de test

**Figuur 10.2.** De eerste testopzet met docenten en studenten van het CvA.

Al snel bleek de benodigde tijd van ruim twee uur per testgroep niet haalbaar te zijn. Docenten op het conservatorium hebben een druk programma en geven op een dag soms maar een uurtje les om vervolgens elders te repeteren of les te geven. Een andere testopzet bleek noodzakelijk. Er werd gekozen de testen met docenten en studenten te scheiden. Met docenten werd in lesverband getest in het leslokaal en met studenten kon een wat uitgebreider programma worden afgewerkt in de studietestruimte. Door het testen te combineren met de lessen van docenten zou het hen geen extra tijd kosten. Het bleek al lastig genoeg om ze enthousiast te maken om aan de testweken deel te laten nemen. In overleg met de studieleiding van het conservatorium werd een A4 met vragen opgesteld. Docenten werden gevraagd hun beoordeling te geven over de hoeveelheid galm, het luidheidsniveau en een algemene waardering. Dit testformulier is terug te vinden in bijlage C. Het verdiende de voorkeur deze vragenlijst te voorzien van wat uitgebreidere vragen, maar de directie was bang dat dit de docenten af zou schrikken om aan de testen deel te nemen. De basis voor de bepaling van de hoeveelheid absorptie was met de aanwezige vragen mogelijk. Om dieper op de wensen van de docenten in te gaan werd met alle deelnemende docenten achteraf nog een evaluatiegesprek georganiseerd. De opkomst bij de testen was slechts 43%. Tijdens de gesprekken kon verder doorgevraagd worden over de gewenste akoestiek. Ook de vergelijking met de huidige lokalen van de docenten kon worden gemaakt. Deze lokalen waren inmiddels doorgemeten. Sommige docenten die hadden toegezegd voor de testweken, waren slechts één keer of zelfs nooit geweest. Met hen kon tijdens de evaluatie nog geëxperimenteerd worden voor de gewenste akoestiek. Ook werden nog afspraken gemaakt met docenten van ontbrekende instrumentengroepen zoals pauken. In de gesprekken met de docenten werd ook gevraagd naar de behoefte aan variabele akoestiek, de favoriete ondergrond en de opzet van de lessen. De docenten werd gevraagd of ze een galmende ruimte vervelender vinden om les in te geven dan een te droge ruimte en of ze op een bepaalde positie in de ruimte gaan staan als ze naar hun studenten luisteren.

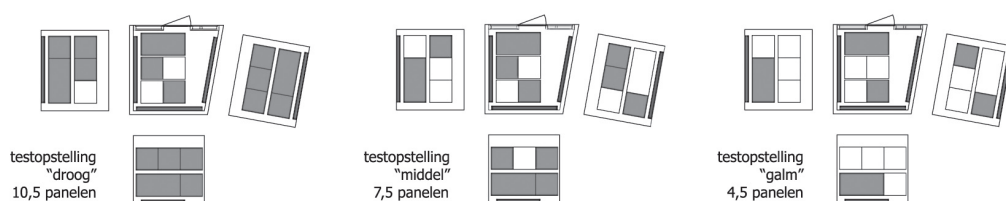
Vier weken lang werd er getest. Elke week was er een andere opstelling met de panelen. De eerste opstelling was samengesteld in een testsessie met Albert Beltman (saxofoon) en Erik van Lier (trombone) van de jazzafdeling. Voor ensembles van deze instrumenten bleek een opstelling met 64% van de panelen gewenst te zijn. Vanwege het beperken van de luidheid was dit een redelijk droge variant. Voor de tweede week (17% van de panelen) werd gekozen voor een variant die juist aan de galmende kant was. Week drie (29%) en vier (44%) werden ingevuld met varianten, die tussen de eerste twee in lagen. In figuur 10.3 zijn bijbehorende indeling van de panelen te zien.



**Figuur 10.3.** De vier opstellingen van de testweken met docenten.

Om studenten te regelen voor de testen, was een stukje geschreven op het intranet en waren A4-posters opgehangen. Het liep niet storm met aanmeldingen en er werd besloten een andere aanpak te kiezen. De bedoeling was theorie docenten inschrijflijsten uit te laten delen in de klassen, maar dit leverde niet de benodigde respons. Uiteindelijk is, na een bezoek aan het Zeemanshuis, een dependance van het CvA, Bram Strijbis (programmacoördinator jazz) aan de slag gegaan om studenten te werven. Dit leverde een lijst op met ongeveer dertig studenten van de jazzafdeling. Via docenten van de testweken zijn nog wat extra *klassieke* studenten geregeld. Inmiddels was het half november. De studenten zijn gemaild voor het inplannen van de testen en ondertussen werd het testformulier uitgewerkt.

Bij de testen werd met groepen van maximaal drie studenten naar drie verschillende akoestische milieus gekeken. Hier werd naast de algemene waardering, de beoordeling van de hoeveelheid galm, en de hoeveelheid luidheid ook naar de ruimtelijkheid en het klankbeeld gekeken. Verder werden ook vragen gesteld over gewenste materialisering, variabele akoestiek, en voor- en nadelen van de testruimtes. De studenten maakten een inschatting van de verdeling van de parameters om de akoestische kwaliteit te beschrijven. Voor sommige klassieke instrumenten werd ook nog naar een vierde variant, met minder panelen, gekeken. Het testen nam per groep maximaal 2 uur in beslag. Hieronder zijn de drie basisopstellingen te zien.



**Figuur 10.4.** De drie varianten van de testen met studenten in de studieruimte.



## 10.2 Resultaten voor het muzieklokaal

De testweken met de docenten hebben plaatsgevonden van 3 oktober tot 4 november 2005. In deze paragraaf worden de resultaten per instrumentgroep besproken. Bij de testen bleek dat de docenten moesten wennen aan de testruimte en dat er veel hinder ondervonden werd door geluidsoverlast van andere lokalen. Uiteindelijk hebben niet met alle instrumentgroepen testen kunnen plaatsvinden. Met houtblazers, snaarinstrumenten, orgel en het klassiek ensemble is niet getest. In figuur 10.5 zijn de beoordelingen van de docenten van de vier varianten te zien.

week 1: 64% panelen "blazersensemble akoestiek"			droog - overakoestisch	algm. indruk	waard. galm	waard. luidheid
datum:	naam docent:	instrument:				
30-sep	Erik van Lier	trombone		tevreden		
30-sep	Albert Beltman	saxofoon		tevreden		
3-okt	Theo de Jong	basgitaar	■		■	■
3-okt	Peter Prommel	klassiek slagwerk				
4-okt	Marian Schutjens	piano bijvak	■	<	■	■
4-okt	Raymond Munnecom	trombone				
5-okt	Victor Oskam	slagwerk				
5-okt	Walter van Hauwe	blokfluit	■	<	■	■
5-okt	Harrie Starreveld	dwarsfluit		■		
5-okt	Maarten Mostert	cello				
6-okt	André Douw	theorie		■	■	
6-okt	Paula de Wit	zang klassiek	■	■	■	■
7-okt	Kees Koelmans	viool / barokviool	■	■		■
week 2: 17% panelen			droog - overakoestisch	algm. indruk	waard. galm	waard. luidheid
datum:	naam docent:	instrument:				
10-okt	Theo de Jong	basgitaar		<		>
10-okt	Walter van Hauwe	blokfluit				>
10-okt	Peter Prommel	klassiek slagwerk				
11-okt	Marian Schutjens	piano bijvak		>	■	■
11-okt	Joost Lijbaart	drums			■	■
11-okt	Perry Hoogendijk	tuba				
11-okt	Raymond Munnecom	trombone		■	■	■
12-okt	Victor Oskam	slagwerk				
12-okt	Harrie Starreveld	dwarsfluit	■			■
12-okt	Erik van Lier	trombone				
12-okt	Maarten Mostert	cello				
13-okt	Marjolein Dispa	altviool		■	■	■
13-okt	André Douw	theorie		■	■	■
13-okt	Paula de Wit	zang klassiek		■	■	■
14-okt	Albert Beltman	saxofoon			<	■
14-okt		gitaar jazz	■	■		■
week 3: 29% panelen			droog - overakoestisch	algm. indruk	waard. galm	waard. luidheid
datum:	naam docent:	instrument:				
17-okt	Theo de Jong	basgitaar	■	<	<	■
17-okt	Walter van Hauwe	blokfluit				
17-okt	Peter Prommel	klassiek slagwerk				
18-okt	Marian Schutjens	piano bijvak	■	■	■	■
18-okt	Joost Lijbaart	drums		■	■	■
18-okt	Perry Hoogendijk	tuba				
18-okt	Raymond Munnecom	trombone				
19-okt	Victor Oskam	slagwerk				
19-okt	Harrie Starreveld	dwarsfluit				
19-okt	Erik van Lier	trombone				
19-okt	Maarten Mostert	cello				
20-okt	Marjolein Dispa	altviool		■	■	■
20-okt	André Douw	theorie				
20-okt	Paula de Wit	zang klassiek	■		■	■
21-okt	Albert Beltman	saxofoon				
week 4: 44% panelen			droog - overakoestisch	algm. indruk	waard. galm	waard. luidheid
datum:	naam docent:	instrument:				
31-okt	Theo de Jong	basgitaar	■		■	■
31-okt	Walter van Hauwe	blokfluit				
31-okt	Peter Prommel	klassiek slagwerk				
1-nov	Marian Schutjens	piano bijvak				
1-nov	Joost Lijbaart	drums				
1-nov	Perry Hoogendijk	tuba	■	■	■	■
1-nov	Raymond Munnecom	trombone				
2-nov	Victor Oskam	slagwerk				
2-nov	Harrie Starreveld	dwarsfluit				
2-nov	Erik van Lier	trombone				
2-nov	Maarten Mostert	cello				
3-nov	Marjolein Dispa	altviool	■	■	■	■
3-nov	André Douw	theorie		■	■	■
3-nov	Paula de Wit	zang klassiek	■	■	■	■
4-nov	Albert Beltman	saxofoon				

**Figuur 10.5.** Beoordelingen van de vier varianten door de docenten in de testweken.

### 10.2.1 Jazz-blazers

#### *Saxofoon met Albert Beltman*

Voorafgaand aan de testsessie laat Albert Beltman zijn huidige lokaal 1.40 zien. Hij noemt de mogelijkheid om de akoestiek met het gordijn voor de raam te kunnen variëren erg belangrijk. Uit een meting zou later blijken dat de positie van dit gordijn op de nagalmtijd geen invloed uitoefent. Wellicht kan het ketserige reflecties van het glas wel wat verminderen.

Beltman is direct erg enthousiast als hij de oefenruimte betreed: *'Als het zo wordt, ben ik blij, ik vind het helemaal geweldig klinken.'* Er worden wat panelen verwisseld voor het testen met een saxofoonensemble. De *blend* geeft aan hoe het geluid van de verschillende saxofoons wordt gemengd en dit wordt erg gewaardeerd. Dit komt doordat de harde vloer de klank levendig houdt. Dit staat tegenover de werking van de vloerbedekking, die in de huidige lokalen ligt. Er wordt een aantal verschillende stukken gespeeld. De vier studenten zijn ook enthousiast. De klanken van de instrumenten worden mooi gemengd, maar zijn ook nog goed van elkaar te onderscheiden. Het is niet zo dat de tussenstemmen worden overstemd. Wat betreft de luidheid klinken de fortestukken vrij sterk. De energie kan zich minder goed verdelen over de ruimte dan in de huidige lokalen die een meter hoger zijn. In de nieuwbouw worden de ruimtes voor ensembles wel groter.

#### *Trombone met Erik van Lier*

Erik van Lier heeft drie trombonestudenten meegebracht voor de testsessie om de eerste opstelling van de testweken te bepalen. Ook Van Lier vind de *blend* prettig. Het blijkt uit te maken of er richting de glasgevel of richting de absorberende panelen op de achterwand wordt gespeeld. Zeker als de toehoorder aan de andere kant van de ruimte staat. Als er door de studenten richting de glasgevel wordt gespeeld en de docent bij de glasgevel staat, klinkt het luider dan in de omgekeerde situatie. Het is aan de luide kant, maar nog niet oncomfortabel. Van Lier vraagt zich af of een trompetensemble in dezelfde opstelling niet te luid zal zijn.

Voor de sololessen spreekt Erik van Lier tijdens de testweken een voorkeur uit voor de derde variant met 44% van de panelen.

#### *Trompet met Jan Oosthof*

Als Jan Oosthof de testruimte in stapt, begint hij in zijn handen te klappen om de akoestiek te beoordelen. Hij vindt de akoestiek beter dan in zijn huidige lokaal 2.38, waar het namelijk te veel galmt. Het meegenomen trompetensemble speelt een aantal stukken. De decibelmeter geeft geluidsniveaus tussen de 90 en 110 dB(A) aan. Oosthof zit op een kleine twee meter voor het ensemble en vind het niet te luid. In 2.38 geeft hij aan niet zo dicht op de studenten te gaan zitten in verband met de luidheid. Blijkbaar speelt gewenning hier een rol, want is luider dan bij het trombone ensemble, terwijl de akoestiek niet als te luid wordt gewaardeerd. Als Oosthof zelf op zijn allerluidst speelt haalt hij een luidheidsniveau van 121 dB(A). Dit is te vergelijken met een opstijgend vliegtuig op 100 meter afstand. Wat aangeeft dat bepaalde blaasinstrumenten veel geluidsenergie produceren.

Ook hier zijn, naast de goede *blend*, de verschillende partijen duidelijk te onderscheiden. Er is goed te horen wie een fout maakt. De studenten betitelen de akoestiek als *'eerlijk'* en *'goed'*.

### **10.2.2 Koperblazers klassiek**

#### *Tuba met Perry Hoogendijk*

Perry Hoogendijk geeft in verschillende lokalen van het huidige gebouw les. 0.52 is de grote ensemblezaal en wordt gewaardeerd om zijn grootte. In het huidige gebouw zijn er veel lokalen die verre van ideaal klinken. Hij vindt het belangrijk dat het instrument natuurlijk klinkt in de ruimte. Er wordt getest in een opstelling met 36% van de panelen. Hij vindt de akoestiek zo goed voor lessen. De tuba is een van de weinige instrumenten dat geluid naar boven projecteert. Tijdens het testen komt Hoogendijk erachter dat het voor de klank uitmaakt of hij onder een kaal stuk zit te spelen of onder een absorptiepaneel. In de lessen zet hij de leerling op de meest gunstige positie en loopt zelf een beetje rond. Variabele akoestiek ziet hij als een luxe, maar niet als noodzakelijkheid. Voor een ensemble verwacht hij dat er, in verband met de luidheid, meer geabsorbeerd moet worden.

#### *Trombone met Raymond Munnecom*

Net als Perry Hoogendijk vindt Raymond Munnecom 0.52 van het huidige gebouw een prettige ruimte om in les te geven. Het geluid kan er 'weg' en er staan veel spullen die voor diffusie zorgen. Een te sterk galmende ruimte is erg storend voor de lessituatie, omdat de leerling slecht beoordeeld kan worden en het erg vermoeiend is om er langere tijd les te geven. Over de harde vloer in combinatie met voldoende absorptie op de wanden en het plafond is hij wel te spreken. Hij is van mening dat het belangrijk is ervaring op te doen in een relatief droge ruimte. Als je in een dergelijke ruimte kan spelen, kun je zeker in een galmendere ruimte spelen. Als er variabele akoestiek zou komen, heeft hij graag dat deze voor de glasgevel komt om zo niet gestoord te worden door langslopende mensen. De variant met 36% vindt hij een goede lesakoestiek. Pas als hij een maand in een ruimte lesgegeven heeft, kan hij een definitief oordeel geven over de akoestiek. Voor ensembles is meer absorptie nodig.

### **10.2.3 Fluiten**

#### *Blokfluit met Walter van Hauwe*

Normaal geeft Walter van Hauwe in de Jan Odézaal les. Door de bouw van de testruimte in deze zaal is het overgebleven zaaltje nog half zo groot. Het overgebleven gedeelte vindt hij minder goed klinken dan de Jan Odézaal zonder testruimte. De verhoudingen zijn nu slechter en Van Hauwe heeft een voorkeur voor meer volume. De blokfluit heeft de ruimte nodig om klank op te kunnen bouwen. De fluit heeft de energie van een ruimte nodig om tot zijn recht te komen. De lessen zijn heel dynamisch en er is bijna altijd publiek aanwezig. Hij geeft daarom ook de voorkeur aan lesgeven in een zaaltje.

Van Hauwe moet erg wennen aan de testruimte, maar geeft aan dat het voor de lessituatie moet kunnen. Ook al heeft hij liever meer volume. Hij stelt dat de ruimte niet te galmend moet overkomen, maar wel levendig. In een groter volume zijn de reflecties minder nadrukkelijk aanwezig, maar komt de klank wel meer tot leven. Hij heeft een voorkeur voor een houten vloer. Het geluid is dan natuurlijk en warm. De situatie in de testruimte met 29% van de panelen vindt hij voor de lessituatie redelijk. Dit is echter het absolute minimum wat betreft galm, maar bij minder panelen komen de reflecties te nadrukkelijk van de wanden.

### *Dwarsfluit met Harrie Starreveld*

Het huidige leslokaal van Harrie Starreveld is 2.16. Dit is een lokaal met een erg laag plafond en vloerbedekking. Hij zou deze akoestiek niet als goede standaard willen benoemen voor dwarsfluit. Al is de akoestiek er redelijk, er is echter net te veel galm. De metingen in het lokaal wezen uit dat de nagalmtijd hoogfrequent 0,5 seconde is. Dit loopt laagfrequent op tot maar liefst 1,5 seconde. Het is dus niet vreemd dat Starreveld vertelt dat er wel duidelijk wamte in de klank zit. Op een dwarsfluit is het voor studenten vaak moeilijk om een mooie ronde toon te spelen. Doordat het schelle uit de klank wordt gehaald door de ruimte, is dit lokaal voor dwarsfluit nog niet zo onaardig. De vraag is echter of dit voor een lessituatie wel goed is, aangezien studenten niet hun techniek aan hoeven te wenden om een mooie klank te krijgen. Dit lokaal is geen rolmodel voor de gemiddelde ruimte waarin gespeeld wordt. Starreveld legt uit dat je met projectie van de klank, je altijd aan een ruimte aan moet passen. De piano in 2.16 is aan de luide kant. Waarschijnlijk komt dit door het lage plafond.

In de testruimte heeft Starreveld ook een duidelijke mening over de vleugel. Bij het testen wordt de vleugel verplaatst. Wat betreft klank moet het niet te galmend worden en zeker ook niet te luid. De ruimtelijkheid is voor de lessituatie niet belangrijk. De enigszins langwerpige vorm van de ruimte spreekt hem aan vanuit functioneel oogpunt. Voor de ensemblesituatie zouden gordijnen om de akoestiek te kunnen variëren wel aardig zijn. De gewenste akoestiek voor dwarsfluit wordt vastgesteld op 33% van de panelen. Het is vervelender in een te droge ruimte te spelen dan in een te galmende, omdat er in een te droge ruimte geforceerd moet worden.

### **10.2.4 Piano**

#### *Piano met Marian Schutjens*

Marian Schutjens geeft pianoles in lokaal 1.17. Dit langwerpige lokaal heeft een vloeroppervlak van 18,5 m<sup>2</sup> en is 3,6 m hoog. Door deze afmetingen en met te weinig absorptiemateriaal in de ruimte beschrijft Schutjens de akoestiek als *'badkamerachtig'*. Het went wel, maar ligt buiten het comfortabele gebied. Laatst is er extra absorptiemateriaal toegevoegd, maar de klank is nog steeds *'tegen het zwemmerige aar'*.

Schutjens heeft bij drie van de vier testvarianten lesgegeven. Op het formulier gaf ze aan dat ze het in de derde week (29% van de panelen) lastig te beoordelen vond. Ze beoordeelde die variant dan ook droger dan de variant uit week 1 (64% van de panelen). Bij het evaluatiegesprek wordt verder geëxperimenteerd met de gewenste opstelling. Bij een opstelling met 14 panelen (39%), waar de vleugel meer naar het midden van het lokaal is verplaatst, zegt ze de akoestiek erg prettig te vinden. Belangrijk is hier ook de positie van de vleugel. Deze moet niet te dicht bij de reflecterende glaswand staan, omdat het dan te luid en te ketserig klinkt. Als de vleugel in het midden van de ruimte staat komt het geluid meer van alle kanten en zijn de reflecties minder hard. Tevens moet de vleugel zo zijn geplaatst, dat de gekromde kant van het instrument lokaalgericht en niet wandgericht is. Andere musici, die op de vleugel begeleid worden, staan namelijk altijd aan de kant van deze kromming. Voor het samenspelen met andere instrumenten acht Schutjens variabele akoestiek wenselijk.

### **10.2.5 Strijkers**

#### *Altviool van Marjolein Dispa*

Marjolein Dispa is niet tevreden over de akoestiek van haar huidige lokaal 1.27. Metingen wezen uit dat de nagalmtijd daar laagfrequent oploopt tot bijna 2 seconden. De grootte van het lokaal (190 m<sup>3</sup>) is prettig, maar er is veel te weinig absorptie aanwezig. Ondanks dat de akoestiek in de testruimte over het algemeen beter was, vond ze het geen prettige ruimte. Het deed *'apothekachtig'* aan en ze stoorde zich aan de luchtkwaliteit, het geringe daglicht, de lampen en de gehorigheid van buitenaf.

Uit de ingevulde testformulieren bleek dat ze een akoestiek prefereert tussen testweekvariant 3 en 4. 29% van de panelen was *'nogal veel akoestiek'* en 44% was *'nogal droog'*. Ze heeft ook in de overgebleven ruimte van de Jan Odézaal gespeeld en vond dat een erg prettige akoestiek: *'Akoestisch hout reageert op instrumenten als de altviool, er zit een grond van warmte in de klank, net als de sfeer in het algemeen'*. Ze heeft liever een eenduidige goede akoestiek dan variabele akoestiek: *'Moet je ook maar net weten hoe dat werkt'*. Als er met meer strijkers wordt samengespeeld is er geen behoefte aan een andere akoestiek, als er een piano of een koperblazer bijkomt wellicht wel.

#### *Cello met Maarten Mostert*

Maarten Mostert geeft vaak les in 2.30 van het huidige gebouw en vindt de afmetingen van dat lokaal wel fijn. Wat betreft de akoestiek vindt hij bijna alle lokalen van het gebouw aan de Van Baerlestraat slecht. Over het geluid van de piano in 2.30 is hij niet te spreken, maar dat kan ook aan de piano liggen. Net als Dispa haalt hij het belang van warmte in de klank aan.

In de testweken is hij niet geweest en bij de extra testsessie wordt eerst gespeeld in testweekvariant 4 met 44% van de panelen. Deze is te droog. Een variant met een groot paneel en vier kleine panelen minder stemt hem tevreden. Mostert is van mening dat voor de akoestiek samenspel met piano maatgevend is. De ruimte zelf vindt hij een beetje *'artificieel'* klinken. Om de schelle klank van de ruimte zo veel mogelijk tegen te werken, is het voor strijkers van groot belang, dat de panelen goed over de wanden zijn verdeeld. Zijn studente beoordeelt de akoestiek als *'droog, maar goed om in te oefenen'*.

Variabele akoestiek acht Mostert overbodig en hij gaat net als Dispa in de lessen het liefst zo ver mogelijk bij de studenten vandaan staan.

### **10.2.6 Elektrisch versterkte instrumenten**

#### *Basgitaar met Theo de Jong*

In de lessen van Theo de Jong wordt er niet alleen *'kaal'* basgitaar gespeeld, maar wordt er ook gewerkt met klankmodules, sequencers en CD's. Zijn huidige lokaal is 0.32 (15 m<sup>2</sup>) en daar is voldoende dempend materiaal aanwezig. Het lokaal is hoger dan het breed en lang is en dat wordt gewaardeerd, aangezien *'het geluid weg kan'*. De ruimte moet de klank van het instrument niet teveel kleuren. Dit kan namelijk met de apparatuur. Corrigeren van het geluid kan, maar niet als er te veel galm in de ruimte zit.

Van de testopstellingen vond hij de laatste met 44% het prettigst. Dat hij de drogere variant uit week 1 een beetje te galmend beoordeelde is te verklaren door het feit dat De Jong de eerste keer in de testruimte nog moest wennen. Zijn studenten deelden zijn mening over de gewenste akoestiek van testweek 4. Variabele akoestiek is niet nodig als de basisakoestiek goed is. *'Dit is meer iets voor ensemblelokalen.'* Het linoleum werkt voor de baslessen prima, maar De Jong vraagt zich af of dit voor combosituaties met drums wel geschikt is.

### **10.2.7 Contrabas Jazz**

#### *Contrabas met Ruud Ouwehand*

Ruud Ouwehand geeft zijn contrabaslessen in 0.32, hetzelfde lokaal waar Theo de Jong lesgeeft. Hij waardeert het volume, maar vindt het geluid *'wolfelijk'*. Akoestiek speelt een belangrijke rol voor contrabas. In een holle bak kan het geluid heel ondefinieerbaar zijn.

Ouwehand heeft een les gegeven in de testruimte met 46% van de panelen. Hij vindt de akoestiek zeer prettig en zegt mooi zacht te kunnen spelen, met toch een duidelijke klank. Dit is mede te danken aan de harde vloer. Het nadeel van deze harde vloer is dat de bas op het gladde oppervlak wegglijdt. Rubberen matten kunnen hier uitkomst bieden. Het principe van variabele akoestiek vindt hij mooi klinken, maar hij zou er zelf niets voor willen doen.

### 10.2.8 Zang

#### *Zang klassiek met Paula de Wit*

Het huidige lokaal van Paula de Wit is 2.30. Ze vindt de akoestiek er *'niet heel prettig'* en *'niet echt helder'*. De gordijnen knoopt ze het liefst zo goed mogelijk op. Zelf is ze gewend om in haar eigen studio, waar ze ook lesgeeft, te zingen. De akoestiek is erg droog, veel van haar studenten hebben toch liever les op het conservatorium. *'Als je in haar studio kan zingen, kun je overal zingen.'*

Over de opzet van de nieuwbouw is ze niet heel enthousiast. Ze voelt zich *'opgesloten in een doosje'* als ze geen raam open kan zetten. Bij ademhalingsoefeningen gaan studenten wel eens op de grond liggen. Ze vindt het maar niks als er dan mensen naar binnen kunnen kijken. Maar toen de akoestiek in de testruimte goed was, vond ze de ruimte wel *'ok'*. De testweek variant met 29% van de panelen stond haar het meest aan. In het gesprek laat ze weten dat de akoestiek voor de lessituatie toch wat confronterender mag. Een variant tussen week 3 en 4 in, lijkt haar het beste. De Wit heeft een voorkeur voor een houten vloer en het kunnen variëren van de akoestiek vindt ze een prettig aspect. Zeker voor zingen met pianobegeleiding.

### 10.2.9 Slagwerk

#### *Drums met Joost Lijbaart en Gerhard Jeltjes*

De drumlokalen aan de Van Baerlestraat zijn 1.47 en 1.48. Joost Lijbaart en Gerhard Jeltjes vinden de akoestiek van die lokalen bijna ideaal. *'Er zijn geen echo's, niet te veel galm, maar het is ook niet te droog.'* In de lokalen is wel te merken dat er aan de straatkant veel glasoppervlak is. Het klankbeeld zou nog wel wat egaler mogen. Voor de drumakoestiek is de luidheid doorslaggevend. Lijbaart geeft vaak les, terwijl hij met oordoppen of met zijn vingers in zijn oren zit. Er moet echter niet zoveel geabsorbeerd worden, waardoor je niet meer het gevoel hebt *'dat je een mooie klank kan maken'*. Lijbaart heeft in de twee testweken lesgegeven met het minste absorptie (week 2 en 3). *'Alles klinkt keihard en lelijk.'* De harde vloer is voor drums geen optie. Het drumstel glijdt weg en de snaredrum, de cymbals en de toms reflecteren hard naar de grond. Alle lokalen waar een drumstel komt te staan, zullen uitgerust worden met vloerbedekking. Dit hoeft geen super hoogpolig tapijt te zijn, maar ook geen studententapijt. Het tapijt in 1.47 en 1.48 voldoet. Vanwege het luide en pulserende karakter van de drumklanken moet er voldoende absorptie geplaatst worden bij de bron en moet de absorptie verder goed over de ruimte verdeeld worden in verband met het egale klankbeeld.

#### *Klassiek slagwerk met Peter Prommel en Victor Oskam*

Er is een duidelijk verschil tussen melodisch slagwerk, de mallets, en het niet-melodische slagwerk. Peter Prommel geeft aan dat mallets niet te veel direct geluid moeten hebben en een voorkeur hebben voor een lange nagalmtijd. Djembés moeten daarentegen juist een zo kort mogelijke nagalmtijd hebben. Hij gaat zelf altijd op een redelijke afstand staan, zodat de attack minder hard is. Bij een ensemble van dezelfde instrumenten moeten ze als één instrument gaan klinken, terwijl het bij een ensemble van verschillende instrumenten van belang is dat er voldoende definitie is, zodat de verschillende instrumenten zijn te onderscheiden.

Victor Oskam heeft in testweek 2 en 4 lesgegeven in de testruimte. Hij geeft aan dat het nog wel wat droger mag dan de 44% van de panelen uit week 4. Voor de mallets is er een voorkeur voor een harde vloer en voor het niet-melodische slagwerk voor vloerbedekking. In slagwerkensembles spelen beide soorten slagwerk samen. Bij voorkeur wordt daar met matjes op de harde vloer gewerkt voor het niet-melodische slagwerk. Als er één soort vloerbedekking in de hele ruimte moet komen, is er een voorkeur voor tapijt. Vanwege het grote verschil in akoestische eisen van de verschillende soorten slagwerk, zouden variabel akoestische elementen, zoals gordijnen en verrijdbare panelen, ideaal zijn. Flexibiliteit achten de heren erg belangrijk.



### **10.2.10 Pauken**

#### ***Pauken met Nick Woud***

Nick Woud geeft aan de Van Baerlestraat les in K.38. Dit lokaal is wat betreft vloeroppervlak en hoogte kleiner dan de testruimte. Bij de lessen wordt er veel meegespeeld met orkestregistraties. Vanwege de hoge geluidsniveaus van de pauken gaan er veel spullen in de ruimte 'meerammen'. Daarom heeft hij een voorkeur voor houten kasten. De instrumenten zijn uit zichzelf al heel akoestisch. De akoestiek van de ruimte moet daar in meegaan, maar niet gaan overheersen. Omdat de pauken erg luid zijn, moet er voldoende absorptiemateriaal aanwezig zijn, maar niet te veel. Woud geeft liever in een te galmende dan in een te droge ruimte les, omdat in de te droge ruimte de ruimtelijkheid ontbreekt. Variabele akoestiek vindt hij niet van toepassing. Hij is geen voorstander van tapijt op de vloer en vindt de harde vloer prima. Hij tekent daar bij aan dat er wel rubberen matten benodigd zijn, zodat de kruk waar de bespeler op zit, niet wegschuift. Bij de testsessie wordt begonnen met een variant met 44% van de panelen. Omwille van de luidheid worden er twee keer panelen bijgehangen. De situatie met 58% van de panelen voldoet, deze is niet meer te luid en heeft nog net voldoende galm. Er wordt opgemerkt dat men een hoger luidheidsniveau aanvaardt als men aan het spelen is, dan wanneer men toehoorder is.

### **10.2.11 Ensembles**

Hoewel testen met een popband en een klassiek ensemble op het programma stonden, is uiteindelijk alleen met de sectie-ensembles van de jazzblazers getest. In de gesprekken met de docenten is ook op de ensemblesituatie ingegaan. Voor veel klassieke ensembles vormt het samenspel met piano het uitgangspunt. Musici uit één instrumentsoort, bijvoorbeeld strijkers, stellen dezelfde eisen aan de nagalmtijd voor solospel als aan de nagalmtijd voor ensemble. Voor luide instrumenten geldt dat er bij meer instrumenten meer geabsorbeerd dient te worden. Dit bleek uit de testen met de jazzblazers. Voor de jazzcombo's en popbands zal de akoestiek van het drumlokaal als uitgangspunt genomen worden: vloerbedekking en voldoende absorptie, maar de ruimte moet ook weer niet te droog zijn. Bij een bezoek aan een comboles in het Zeemanshuis geven de studenten aan dat de cymbals van de drums min of meer maatgevend zijn voor de combo-akoestiek. Deze moeten niet ketserig klinken.

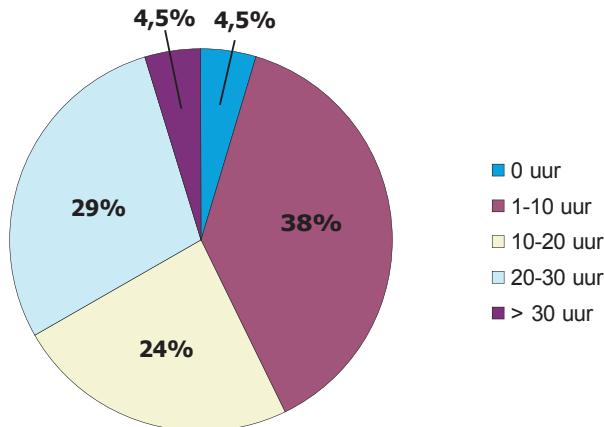
### **10.2.12 Theorie**

De theorievakken worden voor de akoestiek opgedeeld in twee groepen: theorie algemeen en theorie solfège. Bij de algemene theorievakken ligt de nadruk op spraak, bij solfège op muziek. Voor solfège werd getest met een klasje van Job IJzerman van de klassieke afdeling. In de lessen is veel aandacht voor muziekdictees. Ook wordt er veel gezongen door de verschillende hoofdvakstudenten. Deze onervaren zangers preferen voldoende galm als steun. Er wordt getest met 17% van de panelen en IJzerman geeft aan dat het een comfortabele akoestiek is voor solfège. De piano vindt hij nog wel wat aan de luide kant, maar een aanbod om meer panelen op te hangen wordt afgeslagen: 'de akoestiek is goed'. Na het testen heeft IJzerman weer in zijn lokaal (2.44) van het CvA lesgegeven. Per mail liet hij weten dat de akoestiek daar toch wel een stuk prettiger is. Lokaal 2.44 is doorgemeten en als uitgangspunt genomen voor solfège. In het Zeemanshuis vinden gesprekken plaats met theoriëdocenten van de jazzafdeling. Naast vakken als algemene muziektheorie en geschiedenis wordt er ook harmonie aan de piano gegeven. Gehoorde eisen voor de lokalen zijn 'goed muziek kunnen draaien', 'piano niet te luid', 'waarheidsgetrouw klinken' en 'niet te modderig'. Met dat laatste wordt bedoeld dat de galmverhouding tussen hoog- en laagfrequent goed moet zijn. Een akoestiek zoals die voor gewone leslokalen voorgeschreven wordt, is voor *theorie algemeen* een goed uitgangspunt. Lessen zoals *harmonie aan de piano* kunnen eventueel beter in een pianolokaal gegeven worden.

### 10.3 Resultaten voor de studieruimte

Met 21 studenten werd getest in de testruimte van de studieruimte, die gebouwd is in de fiet-senstalling van het personeel. Omdat de kalender inmiddels november aangaf, was het er erg koud en was er een straalkachelkje nodig om de ruimte op te warmen. Vanwege de kou wilde een studente bij de eerste testsessie namelijk niet op haar altviool spelen. Hieronder worden de antwoorden van de testformulieren (bijlage D) en de resultaten van de testen besproken.

De studieruimtes zijn bedoeld om individueel in te repeteren, maar hoeveel uur brengt de student nu studierend door op het conservatorium? Hier bleek een redelijke spreiding in te zitten. Een student gaf aan nooit op het conservatorium te repeteren en een student brengt er wekelijks meer dan 30 uur door. Figuur 10.x laat zien dat het daar tussenin redelijk verdeeld is.

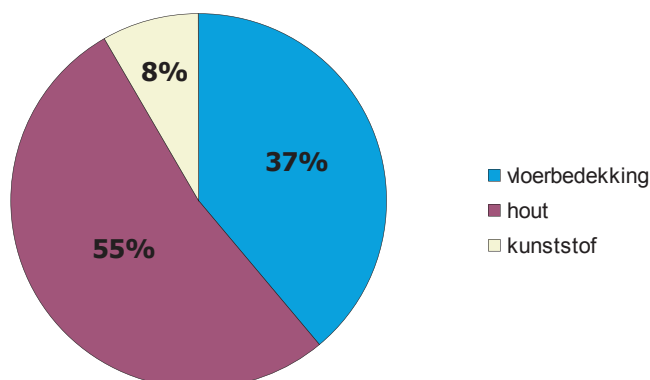


**Figuur 10.6.** Aantal uren dat studenten individueel studeren in ruimtes van het CvA.

Omdat een aantal vragen op de formulieren wat technischer van aard is, vinden de studenten het soms lastig daar antwoord op te geven. Op de vraag in hoeverre de eigenschappen van de ruimte en in hoeverre het instrument verantwoordelijk zijn voor het geluid, wordt heel verschillend geantwoord. Bij bespelers van hetzelfde instrument geeft de een aan dat de ruimte sterk bepalend is en de ander dat het instrument grotendeels bepalend is.

Een andere lastige vraag blijkt te zijn in hoeverre vier akoestische parameters van invloed zijn op de kwaliteit van de ruimteakoestiek. Ook daar is sprake van een grote spreiding in de antwoorden, die niet te verklaren is met het feit dat de studenten verschillende instrumenten bespelen. De vraag werd zowel voor als na het testen van de drie varianten gesteld. Een conclusie is dat de galm (van 28% naar 30%) en de luidheid (van 24% naar 28%) na het testen meer van invloed werden geacht. Uit de testresultaten van de drie varianten wordt later een inschatting gemaakt hoe de verhoudingen zijn tussen de invloed van galm, luidheid, ruimtelijkheid en klankbeeld.

De studenten werden gevraagd naar hun voorkeur voor ondergrond. In figuur 10.7 zijn de resultaten te zien. De keuze voor hout werd veelal onderbouwd met 'warme klank'. Bij vloerbedekking kwamen ook praktische punten als 'dan schuift mijn drumstel niet weg' en 'dan kan ik mijn schoenen uitdoen' naar voren. Geen van de studenten bleek een voorkeur voor een stenen vloer te hebben.



**Figuur 10.7.** Voorkeur voor ondergrond van studenten.

Zoals in hoofdstuk 6 al behandeld is, stelt een krappe meerderheid van de studenten het belang van een goede basisakoestiek boven de mogelijkheid om de akoestiek te variëren; 13 studenten vinden het vervelender om in een te galmende ruimte te studeren dan in een te droge; 7 studenten repeteren liever in een te galmende ruimte.

Als voordelen van een studieruimte, zoals het testmodel, worden gezien: 'goede afmetingen om te oefenen', 'de absorberende kussens' en 'eerlijk geluid'. Als nadelen worden 'te klein', 'onprettige vloer' en 'er is geen galm' aangedragen. Door 6 studenten worden de afmetingen van de studieruimte gewaardeerd; 8 studenten vinden de ruimte te klein. Een andere ondergrond wordt het meest (10 keer) aangedragen op de vraag wat de studenten het liefst aan de studieruimte zouden willen veranderen.

Het hoofddoel van de testen met de studenten was het bepalen van de gewenste opstelling van de panelen voor verschillende instrumenten. Bij de testsessies mochten de studenten om de beurt in de testruimte spelen om de varianten te beoordelen. Tabel 10.1 toont de cijfers die de studenten aan de varianten gaven. Bij de drie laatste instrumenten is de variant *galm* niet een opstelling met 4,5 maar met 3 panelen. Voor deze klassieke instrumenten werd besloten te testen met een extra variant. Bij de blokfluit werd als extra variant met 3,5 panelen getest.

RT [s]	0,22	0,28	0,40
G [dB]	21,7	23,5	25,5
instrument:	DROOG	MIDDEL	GALM
piano (altviool)	9	8	5
tenor sax	6	8	4
drums	9	8	6,5
zang (+piano)	9	8	7
zang	7	8	5
trombone	6	8	6
drums	10	5	1
drums	8	6	4
contrabas	6	8	8
basgitaar	8	10	5
basgitaar	7	9	6
gitaar jazz	2	3	4
trompet	7	7	1
trompet	8	6	0
tenor sax	4	7	9
trompet/bugel	8	10	7
hoorn	5	8	6
blokfluit	4	5	6,5*
hobo	5	6	8**
dwarsfluit	6	7,5	8**
klarinet	5	7	7,5**
<i>gemiddeld</i>	<b>6,6</b>	<b>7,3</b>	<b>5,5</b>

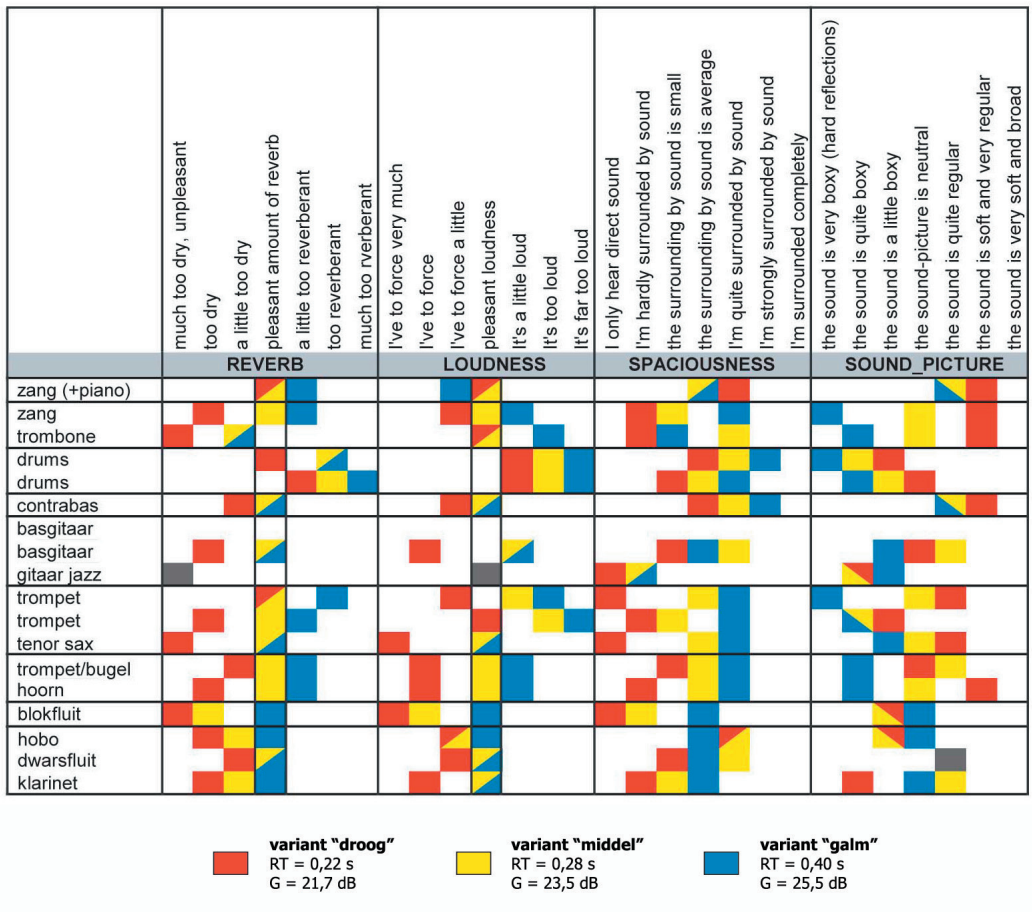
\* = variant galm heeft hier RT = 0,47 s en G = 26,3 dB

\*\* = variant galm heeft hier RT = 0,51 s en G = 26,8 dB

**Tabel 10.1.** Cijfers waar studenten de drie akoestische milieus mee beoordeelden.

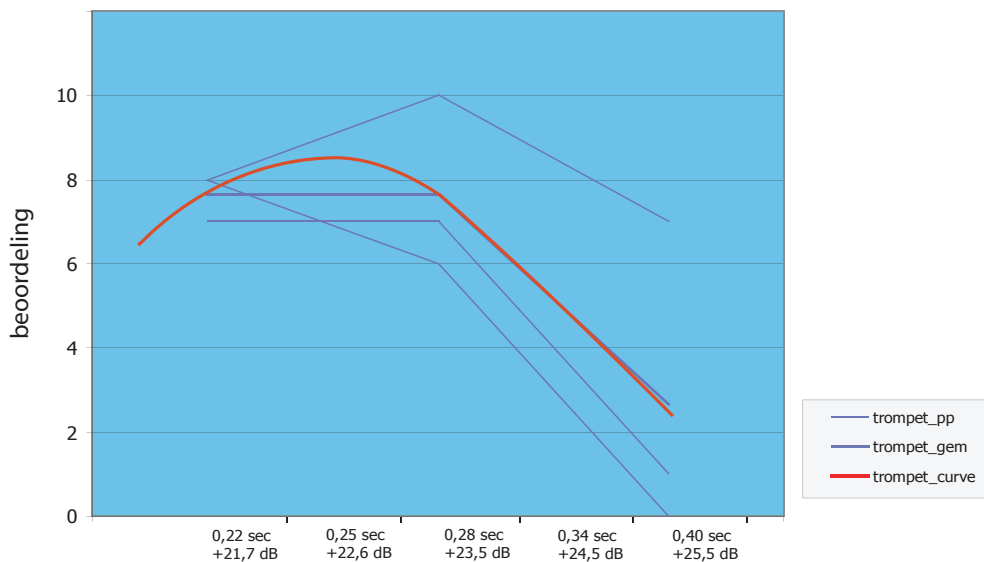
Uit tabel 10.1 blijkt dat de cijfers sterk uit elkaar liggen. Differentiatie van de studieruimtes zou aansluiten bij de akoestische wensen van de gebruikers. Tevens beoordeelden de studenten de parameters galm, luidheid, ruimtelijkheid en klankbeeld per variant op een zevenpuntsschaal. De resultaten daarvan zijn in figuur 10.8 te zien.

De resultaten van de studenten uit de eerste testsessie zijn niet meegenomen, omdat naar aanleiding van hun test het vragenformulier van deze vraag is aangepast.



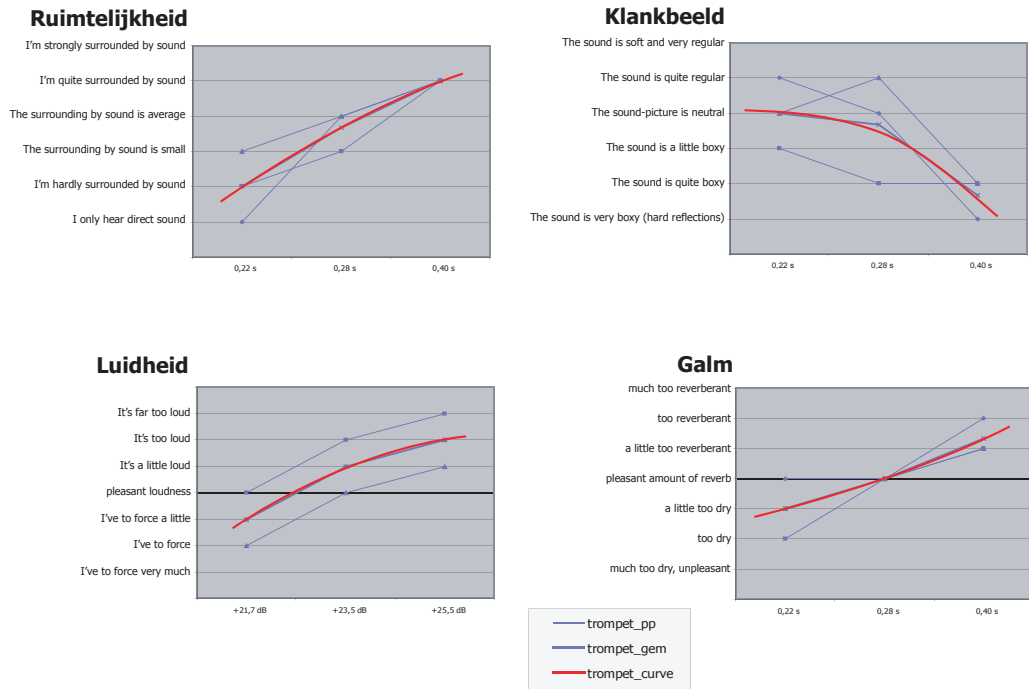
**Figuur 10.8.** Beoordeling van de vier akoestische parameters voor de drie varianten op een zevenpuntsschaal.

Om een idee te krijgen in hoeverre de parameters een rol spelen op de bepaling van de gewenste akoestiek, zijn de beoordelingen van de vier parameters door de drie trompettisten uit de test naast elkaar gezet in figuur 10.9.



**Figuur 10.9.** Vergelijk van de beoordelingen van drie trompettisten.

De rode lijn geeft de gemiddelde curve van de beoordeling door de drie trompettisten aan. De gemiddeld beste variant ligt volgens figuur 10.9 tussen variant *droog* en variant *middel* in. In figuur 10.10 is te zien dat de gewenste luidheid ook tussen deze twee varianten in ligt. De gewenste hoeveelheid galm ligt bij variant *middel*. Het klankbeeld is het meest egaal bij variant *droog* en de ruimtelijkheid neemt toe met de hoeveelheid galm. De hypothese is dat de ruimtelijkheid niet veel invloed heeft op de bepaling van de gewenste akoestiek voor studieruimtes. De



**Figuur 10.9.** Vergelijk van de beoordelingen van de verschillende parameters door de trompettisten.

ruimtelijkheid speelt een sterkere rol in de uitvoeringssituatie. Over het algemeen zal de ruimtelijkheid oplopen als de nagalmtijd langer wordt. De luidheid is voor dergelijk kleine ruimtes sterk van invloed. Voor het klankbeeld prefereert men een drogere ruimte en voor de hoeveelheid galm juist een minder droge ruimte. Een schatting van de invloed van de verschillende parameters voor de gewenste akoestiek van trompet in een ruimte van 30 m<sup>2</sup> is: 40% luidheid, 30% galm en 30% klankbeeld.

Deze percentages zijn afhankelijk van het volume van de ruimte, het soort instrument, de ruimtelijke eigenschappen, en materialisering. Er is een grotere steekproef nodig om hier een goed wetenschappelijk model voor op te stellen. Vanwege de beperkte tijd die beschikbaar was voor dit onderzoek was het niet mogelijk hier dieper op in te gaan.

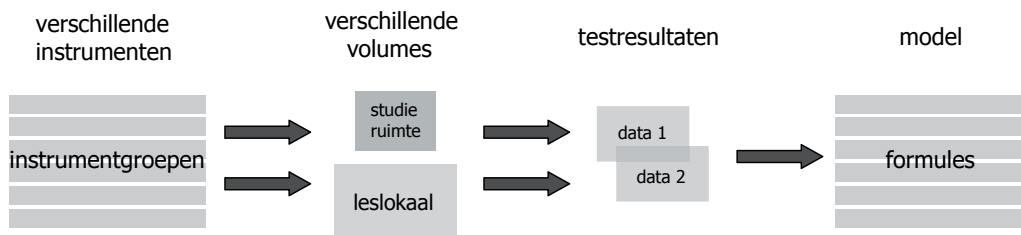
## 11. Van testgegevens naar advies

*De testen met docenten en studenten in de twee testruimtes hebben data opgeleverd over de gewenste akoestische milieus voor de leslokalen en studieruimtes van de nieuwbouw van het conservatorium. Deze subjectieve ervaringen moeten vervolgens omgezet worden in objectieve aantallen panelen per ruimte. Het model dat hiervoor ontwikkeld is, wordt in dit hoofdstuk besproken. Aan het eind van het hoofdstuk wordt een terugkoppeling gemaakt naar algemene muziekllokalen.*

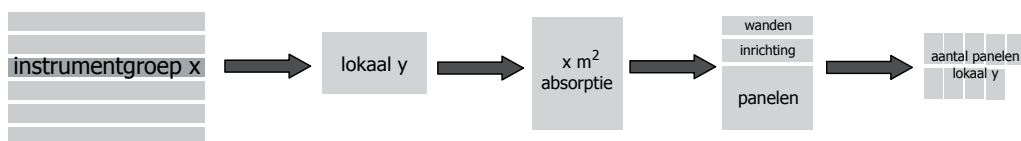
### 11.1 Het vertalen van de testgegevens

In figuur 11.1 is in schema gezet hoe de testgegevens van de verschillende instrumenten in de twee testruimtes vertaald kunnen worden naar een model dat als basis zal dienen voor het advies. Hiervoor zullen voor de verschillende instrumentgroepen formules opgesteld worden. Deze formules kunnen gekoppeld worden aan de plattegronden van de nieuwbouw om te bepalen hoeveel absorptie er per ruimte benodigd is. Na aftrek van het absorptievermogen van de ruimte zelf en de inrichting in de ruimte blijft er een hoeveelheid benodigde absorptie over. Dit kan omgerekend worden naar een aantal panelen.

#### **opstellen model**



#### **bepaling aantal panelen**



**Figuur 11.1.** Model voor bepaling aantal panelen.

De eerste stap is het vertalen van de testgegevens naar een bruikbaar model. Er is met verschillende instrumenten in de twee testruimtes onderzoek gedaan. De volumes van de testruimtes zijn 28,2 m<sup>3</sup> en 106,1 m<sup>3</sup>. In hoofdstuk 5 en 10 is de indeling in instrumentgroepen toegelicht. Bij sommige instrumentgroepen zijn meerdere tests per ruimte gedaan, terwijl het met andere instrumentgroepen soms niet mogelijk was om te testen. Tabel 11.1 geeft een overzicht van de gewenste hoeveelheid panelen per instrumentgroep voor de twee testruimtes. Tevens is de nagalmtijd, zowel voor de studieruimte als voor het leslokaal, bij de gewenste configuraties berekend. De mondelinge toelichting op de voorkeuren van de docenten en studenten zijn meegenomen in de omschrijving van de gewenste akoestiek. Als er geen testgegevens beschikbaar waren, is een inschatting gemaakt op basis van ervaring en de literatuur. De waarden pretenderen niet de ideale akoestiek te beschrijven, maar geven een indicatie voor de gewenste akoestiek, hier uitgedrukt in de nagalmtijd, voor verschillende instrumenten. Om de modellen voor de instrumentgroepen te optimaliseren, is er een grotere steekproef nodig. Testen moeten dan met meer participanten per instrumentgroep en bij meer verschillende volumes worden uitgevoerd.

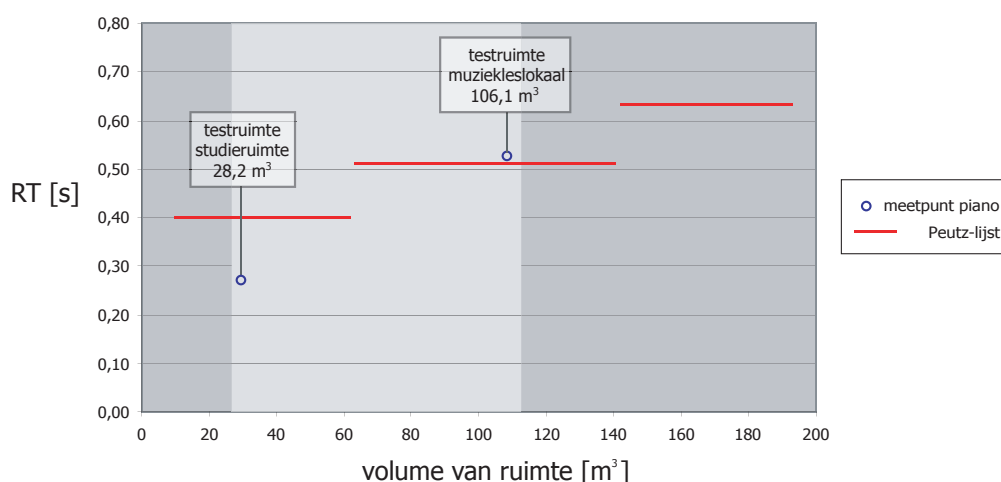
	ruimte		gewenste RT	
	studie	les	studie	les
Jazz-blazers (J)	9	16	0,24	0,48
Koperblazers (K)	8	13	0,27	0,55
Houtblazers (K)	5	11	0,38	0,61
Fluiten (K)	4	10	0,43	0,65
Snaarinstrumenten (K)	6	12	0,33	0,58
Piano (K/J)	8	14	0,27	0,52
Orgel (K)			0,45	0,75
Strijkers (K)	7	13	0,30	0,55
Elektrisch versterkt (J)	8	16	0,27	0,48
Contrabas (J)	8	16,5	0,27	0,47
Zang (K/J)	8	13	0,27	0,55
Slagwerk niet-melodisch (K/J)	10	20	0,22	0,40
Mallets (K)	6	12	0,33	0,58
Pauken (K)	10	21	0,22	0,39
Koperensemble (K/J)	11	21	0,21	0,39
Jazzcombo / Popband (J)	10	21	0,22	0,39
Klassiek ensemble (K)	9	15	0,24	0,50
Theorie algemeen (K/J)	6,2	15,3	0,32	0,49
Theorie solfège (K/J)	5	10	0,38	0,65

*J = Jazz; K = Klassiek*

**Tabel 11.1.** Gewenste akoestiek, uitgedrukt in de nagalm-tijd, per instrumentgroep voor studieruimte (28,2 m<sup>2</sup>) en leslokaal (106,1m<sup>2</sup>).

## 11.2 Het model voor de verschillende instrumentgroepen

In figuur 11.2 zijn het Peutz-advies (dat in paragraaf 9.2 wordt toegelicht) voor piano, en de gewenste akoestiek voor piano zoals uit de testen naar voren kwam, naast elkaar gezet. De testwaarde van het leslokaal komt aardig overeen met de Peutzmethode. Echter, de invloed van de luidheid is in het meetpunt van de studieruimte terug te vinden. Als een ruimte kleiner wordt gaat de luidheid meer invloed uitoefenen op de gewenste akoestiek en zal er relatief een wat drogere, minder luide akoestiek worden geprefereerd.



**Figuur 11.2.** Vergelijking van de gewenste nagalm-tijd voor piano van de standaardlijsten van Peutz met de testen op het CvA.

Om ook een goede inschatting te kunnen maken voor de gewenste akoestiek van ruimtes met een tussenliggend volume, moeten de punten met elkaar verbonden worden. Dit kan het beste door middel van een logaritmische functie. De formule van de nagalm-tijd [2.2] draait om de verhouding tussen het volume van een ruimte en het absorberend oppervlak in die ruimte. Uitgaande van een constante gemiddelde absorptiecoëfficiënt is er voor een verdubbeling van de nagalm-tijd een verachtvoudiging (2<sup>3</sup>) van het volume nodig.



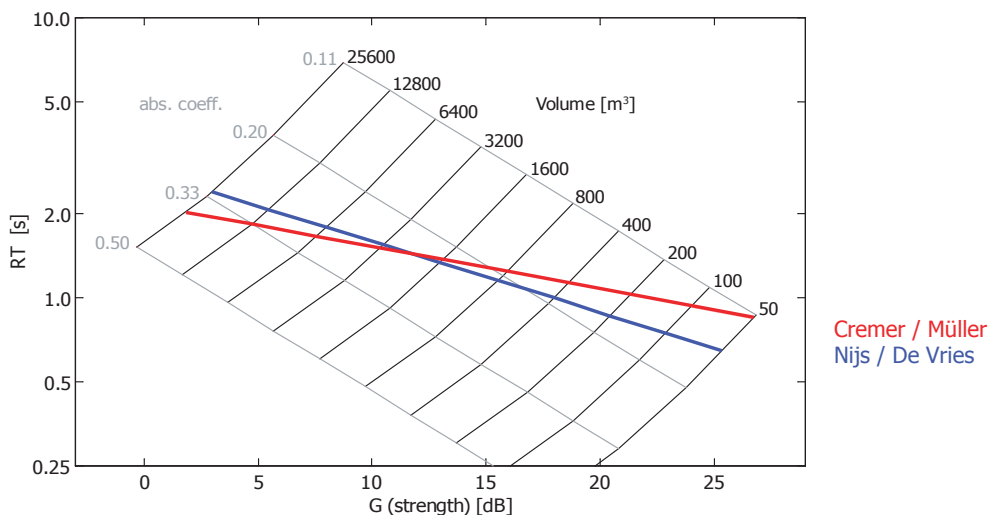
Voor concertzalen bestaan verschillende methoden om de gewenste nagalmtijd ( $RT$ ) voor een bepaald volume te beschrijven. Voor kamermuziekzalen beschreven Cremer en Müller de ideale nagalmtijd als volgt:<sup>1</sup>

$$\log RT = 0,138 \log V - 0,349 \quad [11.1]$$

Nijs en De Vries deden onderzoek naar een geschikt model voor studenten voor het ontwerpen van concertzalen met volumes boven de 400 m<sup>3</sup>. In *The young architect's guide to room acoustics* pasten zij deze curve aan:<sup>2</sup>

$$\log RT = 0,21 \log V - 0,55 \quad [11.2]$$

De aanpassing maakten zij vanwege twee redenen. Ten eerste loopt de curve van Cremer en Müller niet door de rechthoek van Beranek. Deze rechthoek wordt gevormd door de grenzen voor de ideale concertzaalakoestiek die Beranek heeft gedefinieerd: een nagalmtijd ( $RT$ ) tussen 2,0 en 2,3 seconde en een luidheid ( $G$ ) tussen 4,0 en 5,5 dB. Ten tweede wordt de gewenste absorptiecoëfficiënt voor kleine zalen bij Cremer en Müller dermate laag, dat er slechts een klein publiek tot de concerten toegelaten zou kunnen worden.



**Figuur 11.3.** Beschrijving gewenste nagalmtijd voor zalen door Cremer en Müller en Nijs en De Vries in een G-RT-diagram.

Over de precieze ligging van de ideale akoestiekcurve kan gediscussieerd worden, het onderstaand model lijkt te voldoen als uitgangspunt voor het beschrijven van de gewenste akoestiek, uitgedrukt in de nagalmtijd in relatie tot het volume van een ruimte:

$$\log RT = a \log V + b \quad [11.3]$$

Als deze functie wordt uitgetekend met op de verticale as  $\log RT$  en op de horizontale as  $\log V$  bepaalt  $a$  de steilheid. De constanten  $a$  en  $b$  bepalen voor verschillende muziekstijlen en randvoorwaarden hoe de grafiek loopt. In het geval van het conservatorium kunnen  $a$  en  $b$  de gewenste akoestiek voor de verschillende instrumentgroepen beschrijven.

Met de data uit de testen op het conservatorium kunnen  $a$  en  $b$  voor de verschillende instrumentgroepen gedefinieerd worden. In het rekenvoorbeeld op de volgende pagina wordt de curve door de twee meetpunten voor piano uit figuur 11.2 geformuleerd.

Voor piano werden de volgende gewenste nagalmtijden gevonden:

Studieruimte (28,2 m<sup>3</sup>): 0,27 seconde

Muziekleslokaal (106,1 m<sup>3</sup>): 0,52 seconde

Invullen geeft:

$$\log 0,27 = a * \log 28,2 + b$$

$$-0,57 = a * 1,45 + b$$

$$b = -1,45 a - 0,57$$

$$\log 0,52 = a \log 106,1 + b$$

$$-0,28 = a * 2,03 + b$$

$$-0,28 = a * 2,03 + (-1,45 a - 0,57)$$

$$0,57 a = 0,28$$

$$a = 0,49$$

$$b = -1,29$$

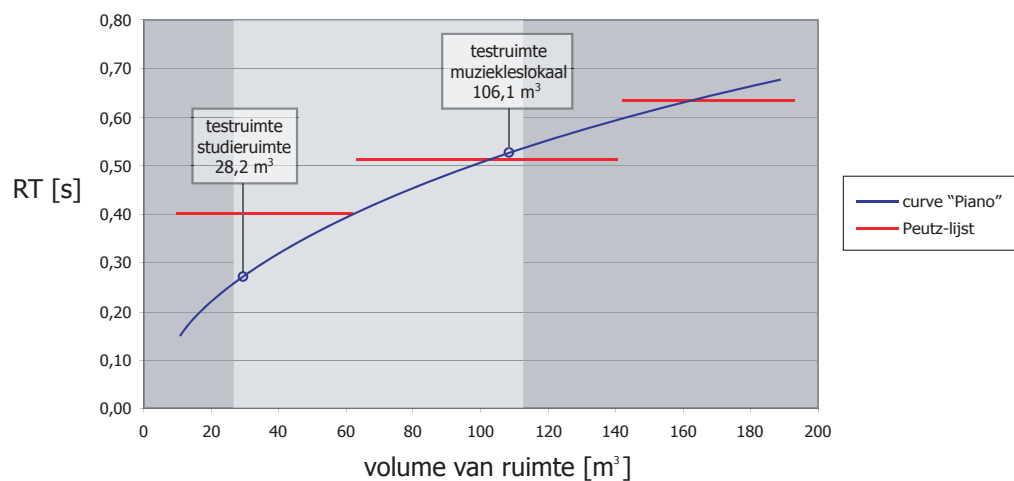
dus de gewenste nagalmtijd voor piano wordt beschreven door:

$$\log RT_{\text{piano}} = 0,49 \log V - 1,29 \quad [11.4]$$

in plaats van  $\log RT_{\text{piano}}$  kunnen we ook  $RT_{\text{piano}}$  beschrijven:

$$\log RT_{\text{piano}} = \log V^{0,49} + \log 0,052$$

$$RT_{\text{piano}} = 0,052 V^{0,49} \quad [11.5]$$



**Figuur 11.4.** Beschrijving van de gewenste akoestiek, uitgedrukt in de nagalmtijd, voor piano volgens:  $\log RT = a \log V + b$ .

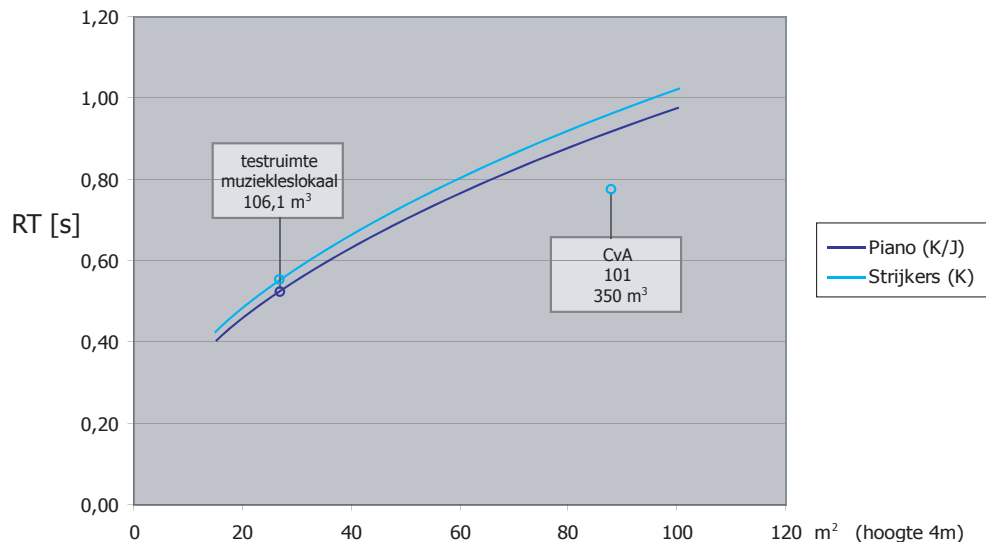
Met deze beschreven curve kan voor piano voor wat betreft de tussenliggende volumes van de twee testruimtes, een goede indicatie gegeven worden voor de benodigde hoeveelheid absorptie. Als het volume van het Concertgebouw (18.780 m<sup>3</sup>) echter wordt ingevuld, levert dit een gewenste nagalmtijd van 6,5 seconde op. Dit is veel te lang, waaruit blijkt dat er voor grotere volumes niet zomaar geëxtrapeerd mag worden. Omdat het voor het testen niet mogelijk was een groter lokaal te bouwen, zijn de leslokalen van de nieuwbouw van vergelijkbare grootte of groter dan de testruimte.

De testruimte van het leslokaal is gebouwd in de Jan Odézaal (101) van de oudbouw. De overgebleven ruimte, die te zien is in figuren 11.5 en 11.6, werd door altviooldocente Marjolein Dispa omschreven: 'Zoals zaaltje 101 nu zelf is, is een mooie leskamer akoestiek'. De aanwezige houten vloer, door strijkers zo geliefd, droeg hier aan bij. In het evaluatiegesprek beaamde zij dat de verhouding tussen volume en de hoeveelheid galm en luidheid in deze ruimte ook erg prettig was. De nagalmtijd van deze ruimte werd als referentiepunt gekozen om het model te toetsen.



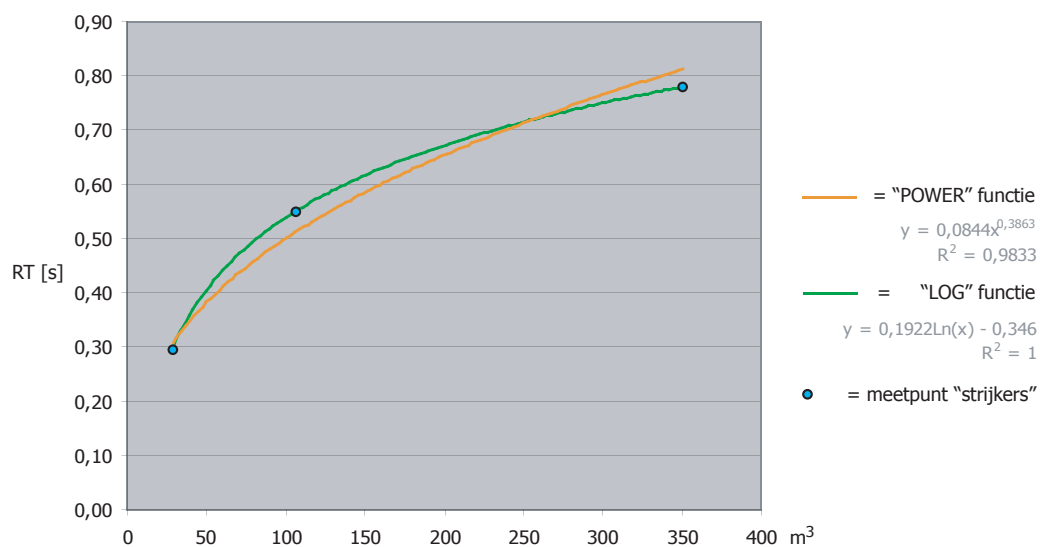
**Figuur 11.5.** Restant van Jan Odézaal (101) na bouwen testruimte.

**Figuur 11.6.** 101 vanaf de andere kant, de testruimte bevindt zich aan de linkerkant.



**Figuur 11.7.** Controleren van de curves voor grotere volumes.

In figuur 11.7 ligt de curve van de instrumentgroep strijkers iets boven die van piano. Strijkers preferen over het algemeen net iets meer galm en support van de ruimte. Het referentiepunt van zaaltje 101 ligt echter duidelijk onder de opgestelde curve. Het construeren van curves, zoals dat voor grote ruimtes en zalen kan, lijkt dus voor leslokalen en studieruimtes niet te volstaan.



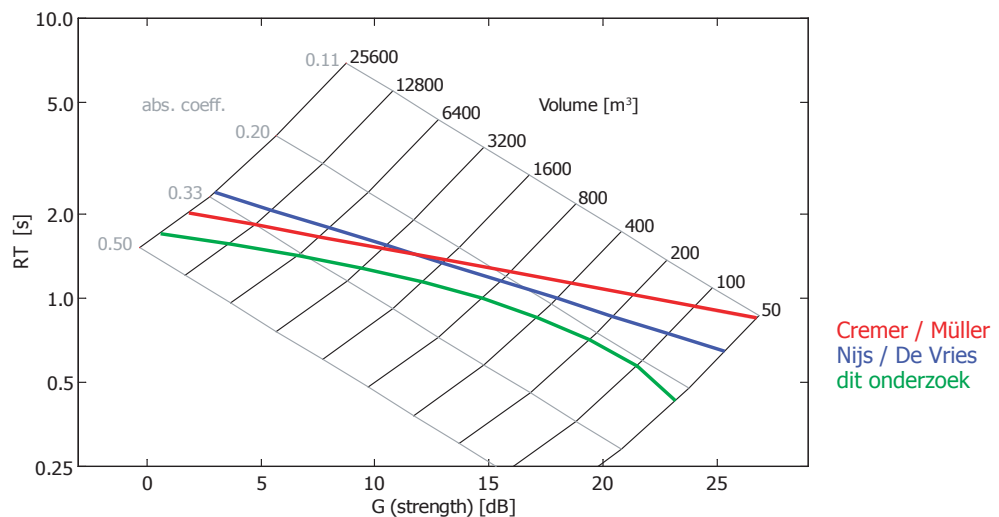
**Figuur 11.8.** Trendlijnen door drie meetpunten in Excel.

Om een curve per instrumentgroep op te stellen, die ook voor ruimtes tot 300 m<sup>3</sup> een goede indicatie van de gewenste nagalmtijd geeft, is dus een ander model nodig. In het programma Excel kan op basis van verschillende modellen een trendlijn door een serie punten getrokken worden. Het gebruikte model 11.3 is te omschrijven als een machtsfunctie.

In figuur 11.8 is voor de instrumentgroep strijkers deze machtsfunctie (*POWER*) naast de logaritmische functie (*LOG*) getekend. De logaritmische curve beschrijft een betere lijn door de punten en is daarmee een beter model. Ook voor andere instrumentgroepen geeft een logaritmische functie een betere beschrijving. Het basismodel om de gewenste akoestiek te beschrijven voor kleinere muzikale ruimtes, zoals de leslokalen en studieruimtes is dus als volgt.

$$RT = p \log V + q \quad [11.6]$$

Blijkbaar is de beschrijving van de gewenste akoestiek voor kleine ruimtes (tot 400 m<sup>3</sup>) anders dan voor grotere zalen. Om de verschillende modellen te vergelijken zijn in figuur 11.9 de modellen van Cremer en Müller, Nijs en De Vries en van dit onderzoek naast elkaar gezet. De curve van dit onderzoek beschrijft een gemiddelde van de instrumentgroepen. De verticale as (nagalmtijd) heeft een logaritmische schaal en de horizontale as (luidheid) heeft een lineaire schaal.



**Figuur 11.9.** Vergelijking verschillende modellen voor beschrijving van gewenste akoestiek in een G-RT-diagram.

De curves van Cremer en Müller [11.1] en Nijs en De Vries [11.2] geven rechte lijnen. Doordat bij de curve van dit onderzoek niet  $\log RT$  maar  $RT$  wordt berekend uit  $a \log V + b$  is deze gekromd.

Boven de 1600 m<sup>3</sup> ligt de lijn ongeveer evenwijdig aan de lijn van Cremer en Müller. Dat de lijn daar een iets kortere nagalmtijd voorschrijft, is te verklaren doordat de les- en oefenakoestiek wat confronterender, en dus droger, mag zijn dan een uitvoeringsakoestiek in zalen. Bij de concertzalen gaat de ruimtelijkheid, het gevoel omspoeld te worden door de muziek, meer meespelen. Er is echter niet getest of de curve van dit onderzoek geëxtrapoleerd mag worden naar grotere ruimtes. Anderzijds zijn de andere twee modellen primair opgesteld voor grotere volumes. Hoe kleiner een ruimte is, hoe duidelijker aanwezig de hoeveelheid galm. Een nagalmtijd van een seconde in een ruimte van 20 m<sup>3</sup> wordt heel anders ervaren als in een ruimte van 1000 m<sup>3</sup>. Een badkamereffect is absoluut funest voor een leslokaal of studieruimte, terwijl eenzelfde nagalmtijd in een grotere ruimte aanvaardbaar kan zijn. Deze invloed bepaalt dat de lijnen van de modellen Cremer en Müller en Nijs en De Vries schuin oplopen met het volume.

Hoe kleiner het volume van een ruimte wordt, hoe sterker de curve van dit onderzoek afbuigt. Dit is te verklaren door de invloed van de loudheid, die met een volumeafname een steeds sterkere rol gaat spelen. Hoe kleiner de ruimte, hoe minder goed de geluidsenergie zich kan verspreiden over de ruimte. Het is onaangenaam in een ruimte te musiceren waar het geluidsniveau te hoog is. Er zal ten koste van de hoeveelheid galm meer geabsorbeerd moeten worden om de gewenste akoestiek te verkrijgen. Hierdoor zal de nagalmtijd relatief korter worden.

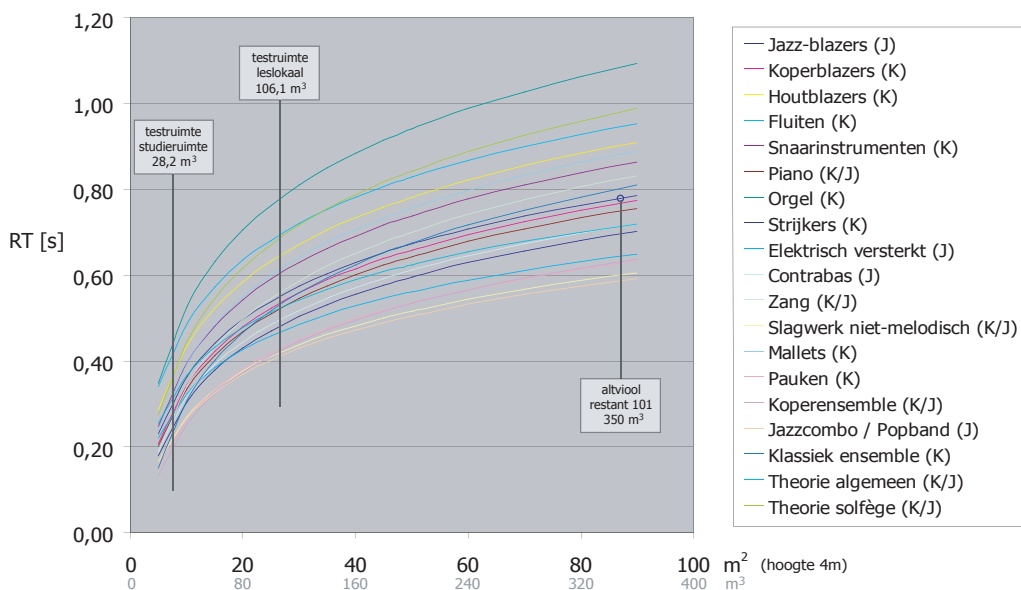
Met deze gemeten en geschatte waarden uit het onderzoek, die te vinden zijn in tabel 11.1, kunnen volgens model 11.6 de constanten  $p$  en  $q$  per instrumentgroep berekend worden. Dit gaat met behulp van de logaritmische trendlijnfunctie uit Excel. In tabel 11.2 zijn hiervan de uitkomsten te zien.

instrumentgroep:	$p$	$q$
Jazz-blazers (J)	0,42	-0,36
Koperblazers (K)	0,45	-0,38
Houtblazers (K)	0,50	-0,36
Fluiten (K)	0,49	-0,30
Snaarinstrumenten (K)	0,49	-0,39
Piano (K/J)	0,44	-0,37
Orgel (K)	0,59	-0,42
Strijkers (K)	0,44	-0,35
Elektrisch versterkt (J)	0,34	-0,22
Contrabas (J)	0,42	-0,36
Zang (K/J)	0,51	-0,48
Slagwerk niet-melodisch (K/J)	0,35	-0,29
Mallets (K)	0,52	-0,44
Pauken (K)	0,39	-0,36
Koperensemble (K/J)	0,40	-0,39
Jazzcombo / Popband (J)	0,34	-0,28
Klassiek ensemble (K)	0,52	-0,53
Theorie algemeen (K/J)	0,37	-0,22
Theorie solfège (K/J)	0,57	-0,47

*J = Jazz; K = Klassiek*

**Tabel 11.2.** Waarden van  $p$  en  $q$  uit  $RT = p \log V + q$  voor verschillende instrumentgroepen.

Met deze gegevens kan vervolgens de grafiek van de verschillende curves per instrumentgroep worden getekend. Op de horizontale as is het vloeroppervlak van een ruimte, uitgaande van een verdiepingshoogte van 4 meter, geplaatst en op de verticale as is de gewenste akoestiek uitgedrukt in de nagalmtijd.



**Figuur 11.10.** De gewenste akoestiek, uitgedrukt in de nagalmtijd, voor verschillende instrumentgroepen.

Op basis van tabel 11.2 lijken de minder luide instrumenten, die meer support en galm van de ruimte verlangen, een hogere  $p$  (zo rond de 0,50) te hebben dan de luidere instrumenten die minder galm nodig hebben zoals niet-melodisch slagwerk en koperblazers (meer rond de 0,40). Hier is een relatie te vinden met de hoeveelheid geluidsenergie die de verschillende instrumenten voortbrengen. Hoe luider de instrumenten zijn, hoe lager de  $p$  wordt. Een uitzondering is te vinden bij het klassiek ensemble. Bij samenspel van meerdere instrumenten in een kleine ruimte veroorzaakt de luidheid hier een relatief lage nagalmtijd. Bij grotere volumes wordt de voorkeur voor voldoende galm belangrijker. Hierdoor is de hoge waarde voor  $q$  te verklaren.

Bij lichte muziek (jazz) en versterkte instrumenten moet er ook in grotere ruimtes niet te veel galm in de ruimte aanwezig zijn. Veel bespelers van deze instrumenten kunnen hun eigen geluid regelen en zijn daar aan gewend, mits de ruimte het geluid niet al te veel aantast.

Ondanks dat bovenstaande waarden en curves heel precies pretenderen te zijn, moet een aantal zaken niet uit het oog worden verloren. Zo is er voor een volledig wetenschappelijke benadering van de curves veel meer onderzoek nodig. Ten eerste moeten meerdere musici bij het onderzoek betrokken worden om beter grip te krijgen op de verschillende instrumentgroepen. De rol van smaak kan er alleen met een grote groep proefpersonen uitgefilterd worden. Tevens kan dan de bandbreedte van de smaak geformuleerd worden. Ten tweede moet er getest worden met meer verschillende volumes. Dit levert meer meetpunten op om de curves mee te beschrijven. Ook zou naar de invloed van diffusie en de rol van een egaal klankbeeld meer onderzoek gedaan moeten worden. Door een dergelijk onderzoek dus uit te breiden, kan de preciese positie van de curves worden vastgesteld en kan de bandbreedte waarbinnen de smaak van verschillende bespelers ligt verkleind worden.

Desalniettemin leveren de opgestelde modellen voor de gewenste akoestiek van verschillende instrumentgroepen voldoende kennis op om een advies op te stellen. De hiermee te bepalen akoestische milieus liggen ruimschoots in het comfortabele gebied. En de differentiatie voor verschillende soorten instrumenten zorgt dat de ruimtes beter zullen voldoen aan de eisen van de gebruikers. Het doel van het opstellen van de curves was dan ook om de akoestische kwaliteit voor de verschillende leslokalen van het Conservatorium van Amsterdam te optimaliseren. Zeker in combinatie met de mogelijkheid om de akoestische voorzieningen per semester aan te kunnen passen kan er een hoge kwaliteit van de ruimteakoestiek verzorgd worden. Als docenten na een aantal maanden gewend zijn aan de nieuwe situatie, kunnen nog evaluatiegesprekken gehouden worden, om zo eventuele aanpassingen aan te brengen in de curves.

### 11.3 Vertaalslag naar het aantal panelen voor leslokalen

De volgende stap is het berekenen van het aantal panelen voor de verschillende lokalen. Op basis van een overzichtlijst met de leslokalen voor het nieuwe conservatorium kan op basis van het vloeroppervlak, de hoogte van een vertrek, en de indeling in instrumentgroepen bepaald worden wat de ontwerpnagalmtijd is. Hieruit kan berekend worden hoeveel absorberend oppervlak nodig is. Na aftrek van de in de ruimte aanwezige absorptie is bekend hoeveel oppervlak aan paneel er nodig is. Deze waarde gedeeld door het effectief oppervlak van een paneel levert, afgerond op een geheel aantal, het aantal panelen op. Tevens wordt er geadviseerd hoeveel panelen op het plafond (40%) en hoeveel er op de wanden (60%) geplaatst moeten worden. Deze verhoudingen zijn gebaseerd op een gelijke gemiddelde absorptiecoëfficiënt in het verticale en horizontale vlak. Bij de testruimtes vormen de horizontale vlakken, het plafond en de vloer, respectievelijk 44% (leslokaal) en 37% (studieruimte) van het totale oppervlak. Bij de vier opstellingen in de testweken met de docenten in het leslokaal zijn van droog naar galmend respectievelijk 35%, 31%, 40% en 41% van de panelen op het plafond bevestigd. In verband met het plaatsen van het meubilair is er voor de nieuwbouw een voorkeur voor meer panelen op het plafond. Deze panelen zullen ook minder snel vies worden en beschadigen. Voor de ervaring van de reflecties is het echter van belang, dat er voldoende wandabsorptie aanwezig is. De panelen op de wanden bevinden zich dicht bij de musici, en te grote, lege wandoppervlakken moeten in verband met harde reflecties vermeden worden.

Als voorbeeld voor het berekenen van het aantal panelen wordt er gekeken naar pianolokaal 07.28 van de nieuwbouw. Dit lokaal heeft een vloeroppervlak van 37,1 m<sup>2</sup> en een hoogte van 4,03 meter. Het volume van dit lokaal is 149,5 m<sup>3</sup>. Voor piano geldt:

$$RT_{\text{piano}} = 0,44 \log V - 0,37.$$

$$RT_{07.28} = 0,44 \log (149,5) - 0,37 = 0,59 \text{ seconde}$$

De gewenste nagalmtijd van 0,59 sec in een ruimte van 149,5 m<sup>3</sup> behoeft

$$\text{Absorberend aantal m}^2 = 0,161 (V / RT)$$

$$\text{Absorberend aantal m}^2 = 0,161 (149,5 / 0,59) = 41,0 \text{ m}^2$$

De aanwezige absorptie in de ruimte is volgens [4.1] vast te stellen op:

$$y = 0,3 x + 1$$

$$Y_{07.28} = 0,3 * 37,1 + 1 = 12,1 \text{ m}^2$$

Er is  $41,0 \text{ m}^2 - 12,1 \text{ m}^2 = 28,9 \text{ m}^2$  effectief absorberend materiaal nodig.

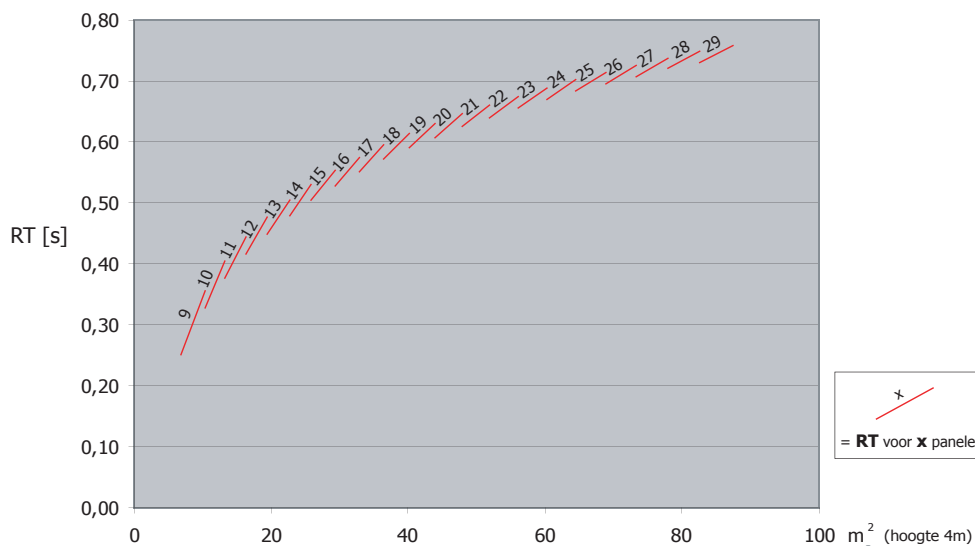
De panelen hebben een oppervlak van  $1,62 \text{ m}^2$  met een effectiviteit van 100%.

Dat betekent dat er in lokaal 07.28:

$$28,9 \text{ m}^2 / 1,62 \text{ m}^2 = 17,8 = 18 \text{ panelen nodig zijn.}$$

In dit geval komen er  $0,4 * 18 = 7,2 = 7$  panelen op het plafond

En  $18 - 7 = 11$  panelen op de wanden.



**Figuur 11.11.** Bepaling voor het aantal panelen uitgaande van het vloeroppervlak.

Om wat meer inzicht te krijgen op de invloed van de afronding van het aantal panelen is figuur 11.11 opgesteld. Het aantal panelen dat voor verschillende vloeroppervlakken van ruimtes met een hoogte van 4 meter geadviseerd zal worden voor piano is hier af te lezen. Deze functie is discontinu omdat er enkel gehele panelen geadviseerd kunnen worden.

Met onderstaande formule kunnen de x-coördinaten (vloeroppervlak) voor het begin en eindstuk van de lijnstukken bij n panelen beschreven worden:

$$\text{beginpunt: } (n - 0,5) = ((0,161 * 4x) / (0,44 \log(4x) - 0,37)) - (0,3x + 1)$$

$$\text{eindpunt: } (n + 0,5) = ((0,161 * 4x) / (0,44 \log(4x) - 0,37)) - (0,3x + 1)$$

Omdat de formule van de nagalmtijd volume-afhankelijk is, geldt er voor verschillende vloeroppervlakken bij hetzelfde aantal panelen een verschillende nagalmtijd. Dat verklaart de steilheid van de lijnstukken. Deze invloed is sterker bij kleine volumes. Dit is te verklaren doordat de  $1,62 \text{ m}^2$  toegevoegde absorptie in de kleine volumes relatief meer invloed heeft op de  $V/A$  verhouding in de formule van de nagalmtijd [2.2].

Het te adviseren aantal panelen blijkt redelijk evenredig met het vloeroppervlak op te lopen. Voor een pianolokaal van 4 meter hoog neemt het aantal panelen (n) met 1 toe bij een vergroting van het vloeroppervlak van ruim  $3 \text{ m}^2$  rond een vloeroppervlak van  $20 \text{ m}^2$ . Dit loopt geleidelijk op richting  $5 \text{ m}^2$  voor vloeroppervlakken van meer dan  $80 \text{ m}^2$ .

De discontinue functie uit figuur 11.11 beschrijft het aantal panelen voor de gewenste piano-akoestiek. De rol van de afronding is terug te vinden in de figuur, maar is niet dermate groot dat er bijvoorbeeld voor kleinere panelen gekozen zou moeten worden.

Met de opgestelde modellen voor de verschillende instrumenten kan bepaald worden hoeveel panelen er nodig zijn voor de leslokalen op de vierde, vijfde, zesde en zevende verdieping van het nieuwe conservatorium.



## 11.4 Drie akoestieken voor de studieruimte

Op de achtste en negende verdieping van de nieuwbouw worden de studieruimtes gehuisvest. Deze zijn bedoeld om individueel in te repeteren en hebben een vloeroppervlak van ruim 10 m<sup>2</sup>. De ruimtes zijn 2,73 m hoog. Door dit kleinere volume bleek bij het testen dat de luidheid een sterkere rol speelt voor het bepalen van het gewenste aantal panelen.

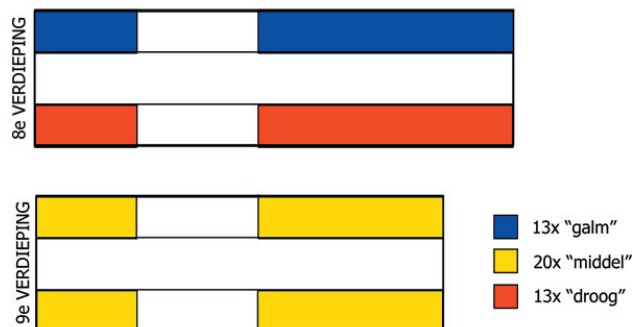
Waar in het ontwerp de leslokalen per instrumentgroep gelabeld zijn, wordt dit onderscheid bij de studieruimtes niet gemaakt. Dit is met het oog op de flexibiliteit en de bezettingsgraad ook niet verstandig. Echter, de testen met de studenten van verschillende instrumentgroepen wezen uit dat niet één gewenste akoestiek uitkomst kan bieden. De ene student vindt het geen probleem om in een confronterende droge akoestiek te oefenen, terwijl de ander liever iets meer 'terug krijgt' van de ruimte waarin gespeeld wordt. De luidere instrumenten hebben een voorkeur voor de drogere variant en de zachtere klassieke instrumenten voor de galmende variant. Het is niet mogelijk met één configuratie iedereen tevreden te stellen. Daarom wordt voorgesteld de akoestiek te variëren door drie verschillende typen ruimtes te creëren. Studenten kunnen dan intekenen op hun voorkeursvariant. Verstandig is om deze indeling te koppelen aan de plattegronden om het overzicht te vergroten. Op het bijgeleverde advies is gekozen om de achtste verdieping in de lengte door te snijden. Aan de westkant zijn 13 droge en aan de oostkant 13 galmende studieruimtes gesitueerd. De gehele negende verdieping krijgt studieruimtes uit de categorie middel. Dit zijn er 20 in totaal. Van deze 46 studieruimtes hebben er 4 een groter oppervlak (ongeveer 18-20 m<sup>2</sup>). Dit zijn de ruimtes die bij de liften geplaatst zijn. Naar een idee van Lucas Vis zijn deze op de achtste verdieping wat extremer droog of extremer galmend gekozen. Het conservatorium kan haar studenten zo de mogelijkheid bieden eens in een extremere akoestiek te spelen.

Er wordt geadviseerd in de gaten te houden hoe de voorkeuren van de studenten voor de drie varianten zijn om na een half jaar eventueel aanpassingen te maken in de verdeling van de varianten. Deze zijn nu als volgt ingedeeld:

Verdieping 8 west (*droog*) 9 panelen : koperblazers, elektrisch versterkt, slagwerk (13 ruimtes)

Verdieping 9 (*middel*) 7 panelen: zang, strijkers, piano (20 ruimtes)

Verdieping 8 oost (*galm*) 5 panelen : houtblazers, fluit, snaarinstrumenten (13 ruimtes)



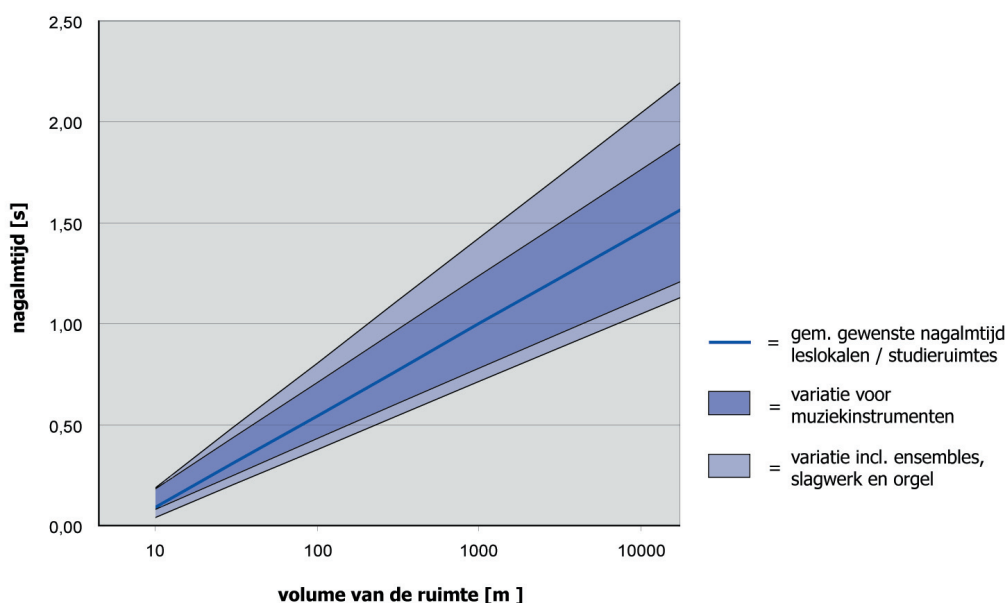
**Figuur 11.12.** Drie akoestische milieus voor de studieruimtes van het nieuwe CvA.

## 11.5 Model voor algemene leslokalen

In veel conservatoria en muziekscholen is er niet de luxe om lokalen aan bepaalde instrumentgroepen te koppelen. Ten koste van de wensen van de gebruikers: docenten en studenten van verschillende instrumentgroepen, zal er voor een ruimteakoestisch compromis gekozen moeten worden. Immers, zowel de harpdocent als de trombonedocent moet les kunnen geven in de ruimte. Om beiden tevreden te stellen kan hier het beste gebruik gemaakt worden van variabele akoestiek. Als dit financieel niet haalbaar blijkt, is de enige overgebleven mogelijkheid te kiezen voor een gemiddelde akoestiek. Deze over de verschillende instrumentengroepen gemiddelde akoestiek wordt beschreven door:

$$RT_{\text{muziekrimte}} = 0,45 \log V - 0,36 \quad [11.7]$$

In figuur 11.13 is de *nagalmtijd* logaritmisch uitgezet tegen  $V$ . Tevens is het gebied aangegeven waarbinnen de *nagalmtijd* in ieder geval dient te liggen. Hier is onderscheid gemaakt tussen twee gebieden. Het binnenste gebied behelst de standaard muziekinstrumenten, terwijl in het ruimere gebied ook rekening is gehouden met de extremere akoestische milieus van niet melodisch slagwerk, orgel en ensembles. Vaak worden voor deze groepen namelijk wel afzonderlijke akoestische voorzieningen getroffen in conservatoria en muziekscholen. De grenzen van de gebieden zijn opgesteld aan de hand van de instrument-groepen binnen het gebied. Voor de zekerheid is er bij de uitersten 5% opgeteld en afgetrokken. Voor de volumes wordt ervan uitgegaan dat de ruimtelijke verhoudingen niet heel extreem worden gekozen.



**Figuur 11.13.** Vergelijking verschillende modellen voor beschrijving van gewenste akoestiek.

De grenzen van de gebieden kunnen ook als goede basis gezien worden voor variabele akoestiek. Dat betekent dat voor een standaard leslokaal met een volume van  $100 \text{ m}^3$ , gevarieerd zou moeten kunnen worden tussen 0,43 en 0,71 seconde. Als er geen variabele akoestiek toegepast wordt, kan het beste een ontwerp*nagalmtijd* van 0,54 seconde aangehouden worden. Echter zal een jazzblazer deze akoestiek luid vinden en zal een fluitdocent de ruimte droog vinden. De vraag is hoe ver je moet gaan bij de bepaling van de akoestische kwaliteit voor leslokalen. Het is niet zo dat de fluitdocent geen les kan geven in het standaard lokaal, maar ideaal is anders. Voor het nastreven van een hoge kwaliteit van de ruimteakoestiek is het dus aan te bevelen om instrumentgroepen te koppelen aan bepaalde lokalen of variabele akoestiek toe te passen. Een tussenoplossing kan nog zijn om minder differentiatie aan te brengen in de instrumentgroepen. Een aantal instrumentgroepen uit tabel 11.1 kan bijvoorbeeld samengevoegd worden. Zo kan er globaal aan de eisen van de verschillende docenten voldaan worden en is er toch meer flexibiliteit wat betreft de roostering mogelijk.

#### Referenties:

- [1] L. Cremer en H. Müller, *Principles and Applications of Room Acoustics* (Applied Science, London, 1982)
- [2] L. Nijs en D. de Vries, *The young architect's guide to room acoustics* (Acoust. Sci. & Tech. 26, 2 (2005))



## 12. De Architect en de bouwtechnische ingreep

*'Architecten staan er om bekend dat ze hun eigen ontwerpplan trekken en het esthetische boven alles stellen. Bouwtechnische ingrepen zijn van ondergeschikt belang. Pas als het echt problemen oplevert is men bereid er iets aan te doen, en dat is meestal na de oplevering.'*

### 12.1 Het ontwerpen van de akoestiek

Een dergelijke mening wordt wel eens geuit in de bouwtechnische wereld. Architecten die adviezen niet opvolgen kunnen dergelijke meningen opwekken. Het doel van dit hoofdstuk is echter niet het zwartmaken van architecten door een opsomming te geven van praktijkvoorbeelden. Het doel is ook niet een compleet hulpmiddel voor architecten te schrijven over het inpassen van akoestische elementen in muzikale ruimtes. Boeken als *Architectural Acoustics* van Egan<sup>1</sup>, het gelijk getitelde boek van Cavanaugh en Wilkes<sup>2</sup> en *The Architecture of Sound* van Lord en Templeton<sup>3</sup> geven alle benodigde informatie voor de geïnteresseerde architect. In het bouwproces heeft de architect echter meestal andere zaken aan het hoofd dan het bestuderen van boeken over akoestiek. Bij een project waar akoestiek een belangrijke rol speelt wordt een akoestisch adviseur ingeschakeld om de architect te adviseren over de akoestische ingrepen in het ontwerp. De kunst is deze samenwerking te optimaliseren om voor de opdrachtgever een gebouw te ontwerpen met de gewenste uitstraling en functionaliteit en mét een beeldschone akoestiek. Architect + adviseur > 2 : de samenwerking moet tot een meerwaarde leiden. De adviseur levert de architect kennis aan die door de architect vervolgens geïntegreerd kan worden in het ontwerp. Een adviseur kan hier weer op reageren en eventuele aanpassingen voorstellen. Door de bal zo een aantal keren heen en weer te kaatsten kan de akoestische ingreep goed geïntegreerd worden in het ontwerp. Deze manier van ontwerpen zal zorgen voor een betere aansluiting op de wensen van de opdrachtgever dan een standaard ontwerptool voor architecten. Hiermee valt te denken aan computerprogramma's waar een architect data in kan voeren en waar een te gebruiken oplossing uitrolt. Juist door de discussie aan te gaan tussen architect en adviseur kan dit een meerwaarde opleveren voor de kwaliteit van het gebouw. Als er geen adviseur wordt ingeschakeld, kunnen *computeradviezen* wel wat inzicht verlenen, maar ontbreekt de terugkoppeling. Ook bij het inschakelen van een adviseur kan het misgaan. Hier worden twee punten aangehaald.

Naast genoemde wensen van de opdrachtgever dat er een functioneel en mooi gebouw moet worden ontworpen, is het ook van belang dat hier een zo klein mogelijk prijskaartje aan hangt. Bezuinigen is dan ook eerder regel dan uitzondering. Architecten kunnen in twee groepen worden ingedeeld. De architect die akoestische ingrepen als meerwaarde van de door hem ontworpen ruimte ziet. Het comfort gaat namelijk omhoog. En architecten die akoestische ingrepen zien als een noodzakelijk kwaad. De akoestische ingrepen kunnen er best uitbezuinigd worden. Als men gaat klagen, kunnen deze alsnog worden aangebracht. In paragraaf 9.4 werd al betoogd dat het niet in de aard van de mensen zit om direct te gaan klagen als ze ontevreden zijn over het comfort. Zo waren sommige docenten niet echt tevreden over de akoestische kwaliteit van bepaalde lokalen, maar werd daar niet over geklaagd bij de facilitaire dienst. In dat geval wordt er wel een probleem gesignaleerd, maar wordt daar dus niets mee gedaan. Een dergelijke bezuinigingsinstelling van een architect is dan ook geen ideaal uitgangspunt voor de kwaliteit van een gebouw.

Een ander voorbeeld is de architect, die zelf ook wel verstand heeft van akoestiek. Adviseur Heringa bracht advies uit voor absorptie op wanden en plafond voor een pop-oefencentrum. De architect had zelf ook wel eens van Sabine gehoord en drukte, zonder overleg met de adviseur, een systeemplafond door in het project. Als architecten de adviezen van echte kenners zouden opvolgen, zou dit een hoop problemen in het gebruik van het gebouw kunnen schelen. Uiteraard is het ook aan de adviseurs om mee te denken met de architect in functionele en esthetische overwegingen met betrekking tot de akoestiek. Desgewenst kunnen er namelijk alternatieve oplossingen aangedragen worden.

Zoals in 9.2 wordt gesteld, is het akoestisch advies in verschillende lagen onder te verdelen. Daar wordt ingegaan op aspecten, die van invloed zijn op de ruimteakoestiek. Voor een gebouwwontwerp zit daar nog een laag omheen. De omgevingsfactoren, zoals verkeerslawaaï en trillingen, stellen eisen aan de gevel van het gebouw. Als de akoestiek een prominente rol speelt in een ontwerp kan het zijn dat de akoestisch adviseur bij het project betrokken wordt, voordat de architecten met de eerste schetsen komen. In de loop van het proces is de samenwerking tussen architect en adviseur van groot belang. Hoe beter er integraal ontworpen wordt, des de hoger de kwaliteit van het uiteindelijke gebouw zal zijn. De verschillende adviesstappen moeten daarom ook niet los van elkaar worden gezien, maar worden in de ideale situatie met elkaar versmolten. Zo zou voordat de knoop doorgehakt wordt over de wandopbouw van de verschillende ruimtes, al nagedacht moeten zijn over de toe te passen absorptie in de ruimte. Deze kunnen namelijk ook met elkaar geïntegreerd worden.

Op de vierde peiling van dit afstudeerproject kwam de vraag naar voren of er beter een absorberende wand gemaakt kon worden of beter een reflecterende wand, als uitgangspunt voor een muzikleslokaal. Om de juiste akoestische parameters te krijgen, moeten er bij de absorberende variant reflecterende oppervlakken worden aangebracht, terwijl bij de reflecterende wanden het toevoegen van absorptie nodig is. Afgezien van de praktische en esthetische nadelen van een absorberende wand, is de denkwijze een interessant startpunt. Er wordt immers gestart met het oplossen van het absorptievraagstuk als de bepaling van de kwaliteit van de schil nog niet is afgesloten. Waarom zou men een gipsplaat voor absorptiemateriaal zetten, als men daar straks weer absorptie voor gaat hangen? Een discussie tussen architect en adviseur kan hier uiteindelijk leiden tot een geïntegreerd ontwerp, wat wellicht zelfs kostenbesparend is. In de volgende paragraaf zal verder ingegaan worden op akoestische ingrepen in een ruimte. Het moet niet gezien worden als een handleiding, maar als een verzameling van ideeën voor mogelijke toepassingen.

## **12.2 Het inpassen van variabele akoestiek en materialiseringsideeën**

### ***12.2.1 Variabele akoestiek***

In hoofdstuk 6 wordt ingegaan op variabele akoestiek. De beslissing voor het toepassen van variabele akoestiek hangt af van een aantal zaken. Het is van belang dat er eerst onderzocht wordt of het toepassen van variabele akoestiek noodzakelijk is. Over het algemeen zal het meer kosten met zich meebrengen en dat is zonde als het systeem uiteindelijk niet gebruikt wordt.

Het variëren van de akoestiek is gewenst bij twee of meer functies met andere akoestische eisen in een ruimte. Voor een conservatorium valt hier te denken aan verschillende instrumentengroepen (zie paragraaf 5.2), maar ook solo- en ensemblespel. Mochten er geen duidelijk verschillende functies in de ruimte plaatsvinden, dan is de toepassing van variabele akoestiek overbodig. Het systeem zal, als dit toch wordt aangebracht, slechts sporadisch gebruikt worden. Als er door de gebruikers wel verschillende eisen worden gesteld aan de akoestiek, zal de variabele akoestiek een meerwaarde voor de ruimte betekenen. Door gesprekken aan te gaan met de gebruikers, kan achterhaald worden hoeveel en wat voor variatie gewenst is. Een bestuur of directie van een organistaie weet vaak niet wat de precieze wensen van de directe gebruikers van ruimtes zijn. Zonder deze kennis is het moeilijk om de akoestiek voor de desbetreffende gebruikers te optimaliseren.

### ***12.2.2 Akoestische ingrepen in het algemeen***

Om de akoestiek van een ruimte te verbeteren zijn er veel meer mogelijkheden dan het toepassen van een systeemplafond. Maar de effectiviteit van de absorberende werking en de mogelijkheid tot combineren met onder andere luchtbehandelingssystemen, maakt een systeemplafond tot een veel toegepaste oplossing. Voor muzikale ruimtes zit er echter een aantal nadelen aan het systeemplafond. Het wordt uitgevoerd als een verlaagd plafond en verkleint daarmee het volume van een ruimte. De gewenste muzikale beleving van de gebruikers en de betere ver-

spreidingsmogelijkheden van de geluidsenergie, maken dat voor muzikale ruimtes in het algemeen geldt: hoe groter, hoe beter. Met het toepassen van een systeemplafond kan vaak aan de absorptievraag voldaan worden. Door alleen absorptie op het plafond te plaatsen, zullen musici harde reflecties van de wanden ervaren en zal het geluid zich minder diffuus door de ruimte verspreiden. Daarom is het voor muzikale ruimtes aan te raden de absorptie goed over de ruimte te verdelen.

Om een architect ideeën aan te reiken worden er hieronder verschillende concepten besproken, die tijdens het afstudeeronderzoek bedacht zijn. Het zijn geen uitgewerkte systemen, maar meer mogelijke oplossingsrichtingen. Zoals eerder genoemd, is het in een ontwerpproces van belang dat er goed wordt gedefinieerd aan welke eisen een ruimte moet voldoen. Een architect kan dan samen met een adviseur tot een passende oplossing komen. Uiteraard speelt het kostenplaatje daarbij een doorslaggevende rol. Wellicht is het interessant eens materialen en oplossingen naast elkaar te zetten, die teruggerekend worden naar de prijs per vierkante meter absorptie.

Er kan onderscheid gemaakt worden voor statische- en dynamische ingrepen. Met de dynamische systemen worden variabel akoestische elementen bedoeld. Deze moeten goede akoestische- en esthetische eigenschappen hebben en ook gebruiksvriendelijk zijn. Verder speelt de robuustheid van de elementen een rol.

In de volgende paragrafen zullen materialiseringsideeën voor absorptie en diffusie worden besproken. Verder zal er aandacht zijn voor het bij musici geliefde materiaal hout. In de ruimte aanwezig meubilair kan tevens ingezet worden voor absorptie en diffusie.

### **12.2.3 Absorptie**

Houtwolcementplaat, schuimrubber, geperforeerde hout-, staal- of gipsplaten, vloerbedekking en paneelbetimmering zijn naast het systeemplafond veel toegepaste absorptiematerialen. Zoals eerder in dit verslag (paragraaf 2.3.3) is uitgelegd zijn er twee manieren van absorberen: absorptie door poreuze materialen en absorptie door resonatoren. Het is mogelijk deze manieren te combineren in een samengesteld paneel, zoals gedaan is in het breedbandpaneel voor het CvA. Hieronder zullen een aantal concepten besproken worden.

Houtwolcementplaat behoort meestal niet tot de favoriete materialen van architecten. De platen worden over het algemeen lelijk gevonden. Dit kan veranderd worden door de panelen te beschilderen, bijvoorbeeld door een kunstenaar. Hierbij moet wel in de gaten gehouden worden dat de juiste verf gebruikt wordt. Bepaalde verf zal de poreuze werking van de panelen namelijk teniet doen.

Minerale wol is een goed absorberend materiaal dat veel toegepast wordt. Echter altijd achter akoestisch transparante textiel of achter een geperforeerde plaat. Textiel is in alle kleuren en structuren toe te passen, zolang deze maar akoestisch transparant is. Dat wil zeggen dat de lucht er makkelijk doorheen moet kunnen, zodat de achterliggende wol het geluid kan absorberen. Bij het perforeren van hout-, staal- en gipsplaten kan gevarieerd worden met de perforaties. Er ontstaat een speels karakter door de grootte en regelmaat van de gaten te variëren.

Verder is er uitdaging te vinden in de positionering van de absorberende elementen. Veelal worden deze zover mogelijk naar de hoeken van de vertrekken verbannen. Door juist de nadruk te leggen op het absorptiemateriaal en deze in te zetten als visueel statement, kan de aandacht afgeleid worden van de functie van de panelen. Door een wand op te vatten als ondergrond waarop met de absorptiematerialen een compositie wordt gemaakt, zal de nadruk gelegd worden op de kunstzinnige kant.

Elke ruimte heeft haar eigen eigenschappen. Resonantiepatronen bepalen welke frequenties versterkt worden, en in kleinere ruimtes liggen deze frequenties meer in het hoorbare gebied dan in grote zalen. Door middel van resonatoren kunnen frequenties heel precies aangepakt worden.

Als er resonatoren met folies, waarvan de afstand te veranderen is, worden toegepast, kan de ruimte ter plekke geoptimaliseerd worden. Een standaard paneel kan dan toegepast worden in verschillende ruimtes. Ook kan er geëxperimenteerd worden met het scheef plaatsen van folies. Dit zal, net als het toevoegen van poreus materiaal achter het folie, de bandbreedte van de resonator vergroten.



#### 12.2.4 Diffusie

Om de resonantiepatronen van een ruimte aan te pakken kan het toepassen van absorptie op de juiste posities helpen. Tevens kan de diffusie van een ruimte vergroot worden om het ontstaan van deze resonatiefrequenties te voorkomen en het geluid beter over de ruimte te verspreiden. Het idee achter diffusie is het zo goed mogelijk verspreiden van het geluid dat op een bepaald vlak valt. Hiervoor zijn speciaal ontwikkelde diffusoren te koop die gebaseerd zijn op wiskundige modellen. Echter kan een architect ook met materialen en vormen de diffusie van een ruimte vergroten.

Als van materialen uitgebreide gegevens over de reflectie van geluid op verschillende frequenties bij verschillende invalshoeken bekend zijn, zouden met de computer gekromde vlakken kunnen worden gemodelleerd met ideale diffusie-eigenschappen. Als deze vervolgens aan een 3D-freesmachine worden gekoppeld is het mogelijk deze vlakken daadwerkelijk te bouwen. Dit zou bijvoorbeeld uitgevoerd kunnen worden met polystyreen blokken die op elkaar worden gelijmd en worden afgedekt met een vezelversterkte polyesterlaag. Het is zelfs voor te stellen dat deze constructie als doos-in-doos wordt uitgevoerd. Echter is de reactie van een materiaaloppervlak op geluid erg gecompliceerd en frequentie-afhankelijk, zodat onderzocht moet worden hoe ideaal dergelijk vlakken daadwerkelijk zullen zijn. Desalniettemin kan het een interessant ontwerppunt zijn.

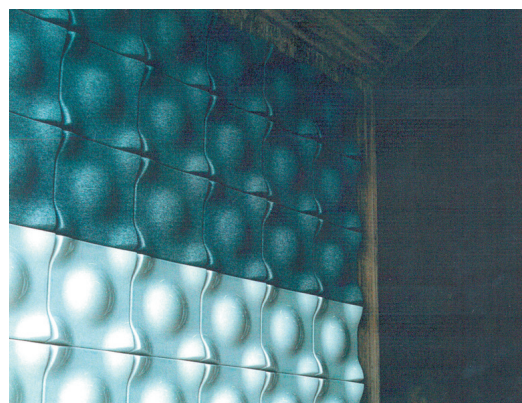
Een architect kan er ook voor kiezen reeds bestaande elementen toe te passen, die door hun vorm het geluid zullen verspreiden. Hier valt bijvoorbeeld te denken aan golfplaten. Deze zullen vanwege hun reliëf het geluid diffuser weerkaatsen. Door deze golfplaten te perforeren en op te vullen met minerale wol kunnen ze ook gedeeltelijk absorberend uitgevoerd worden.

Door de bekisting van beton aan te passen, kunnen diffuserende vormen gecreëerd worden. Ook kan er door een ruwe afwerking met spuitbeton of bepaalde steensoorten getracht worden meer diffuse reflecties op te wekken dan bij een gewone betonnen wand.

Naast de formfinding van wanden kunnen er ook panelen worden ontwikkeld, die tegen vlakke wanden aan geplaatst worden. Zo ontwierp Jouko Kärkkäinen akoestische designpanelen (figuur 12.1). Ook de firma Snowcrash heeft een aantal akoestische panelen voor huiskamergebruik op de markt gebracht (figuur 12.2).

**Figuur 12.1.** Akoestisch paneel ontworpen door Jouko Kärkkäinen. ([www.ply.fi](http://www.ply.fi))

**Figuur 12.2.** Diffuserende panelen. (Snowcrash)



#### 12.2.5 De inrichting

Naast ingrepen ten behoeve van absorptie en diffusie aan wanden en plafond kan ook gebruik gemaakt worden van elementen, die sowieso in de ruimte aanwezig zijn. Hoe kleiner een ruimte, des te sterker is de aanwezigheid van meubilair en personen van invloed op de akoestische parameters. Zo kan absorptie weggewerkt worden op de bovenkant van een kast en aan de binnenkant van de kastdeuren. Door de kastdeuren open te zetten kan dan gebruik worden gemaakt van variabele akoestiek. Verder kunnen stoelen en tafels uitgerust worden met poreuze materialen en resonatoren. Door een tafelblad hol uit te voeren kan de lucht in het tafelblad geluid absorberen. Verrijdbare spiegels en whiteboards kunnen aan de achterkant bekleed worden met een poreus materiaal, zodat zij ingezet kunnen worden als variabel akoestisch element. Verlichting kan weggewerkt worden in een akoestisch paneel. Door een grote lampenkap te ontwerpen kan de diffusie in een ruimte vergroot worden.



### 12.2.6 Hout

Waar het precies aan ligt is niet duidelijk, maar bij de testen en de enquête bleek dat hout duidelijk favoriet is bij musici. Zeker een houten vloer is erg in trek. Akoestisch zijn er niet zo gek veel verschillen tussen een houten en een andere harde vloer te vinden. Musici roemen hout om de warme klank en het natuurlijke karakter. Of reflecties van hout daadwerkelijk zachter en warmer zijn dan van bijvoorbeeld steen is de vraag. Het zou interessant zijn om dit eens te onderzoeken. Bij het bespelen van een instrument dat in contact staat met een houten vloer zoals de contrabas kan de vloer wat mee gaan resoneren. De contrabassist ervaart dit als prettig. Dit verschil in klank en ervaring is voor de luisteraar echter op een bepaalde afstand niet waar te nemen. Voor de warme klank van een houten vloer spelen wellicht ook thermische aspecten mee. Steen en kunststof voelen veel kouder aan dan een houten oppervlak. Misschien dat deze thermische werking doorslaat op de akoestische ervaring. Door een kunststof of stenen vloer te verwarmen zouden deze reflecties ook warmer moeten worden. Het visuele aspect speelt wellicht ook mee, omdat de kleur van hout tot de warme tinten behoort. Het natuurlijke karakter van hout wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de duidelijke afkomst uit de natuur. Tenslotte kan ook gewenning een rol spelen. Bijna alle podia van zalen zijn uitgerust met een houten vloer. Omdat de akoestiek daar over het algemeen goed is, verlangt men wellicht ook in andere ruimtes een houten vloer.

Ondanks dat de reden voor de populariteit van hout niet met cijfers is te onderbouwen, blijkt de subjectieve ervaring van hout erg prettig te zijn. Architecten zitten dus goed bij de keuze van hout. Nadeel is de hoge onderhoudsgevoeligheid, wat de vloeren erg kostbaar maakt.

### 12.3 De panelen van het conservatorium

De architecten van het Conservatorium van Amsterdam hebben bij het ontwerpen van de absorptiepanelen het concept van breedbandabsorptie van de adviseur vertaald naar vormgegeven kussens. De kussens hebben een grootte van 1,8 bij 0,9 meter en zijn ongeveer 15 cm dik. In hoofdstuk 3 wordt dieper op deze panelen ingegaan. De kussens kunnen over de wanden en het plafond door de ruimte verspreid worden. Dit zorgt voor een zo egaal mogelijk klankbeeld, de beste verdeling van het geluid over de ruimte, de beste absorptiewaarden en de minste last van harde reflecties en resonantiepatronen.

De uitgetekende panelen uit het bestek zijn ook vervaardigd voor het testen in de twee testruimtes. Het gewicht van de panelen is 30,3 kg. Dat maakte deze panelen onhandelbaar met het testen. Zeker voor bevestiging op het plafond leverde dit veel problemen op. Het gewicht wordt voornamelijk veroorzaakt door het houten frame en de MDF achterplaat. Hier zou gekozen kunnen worden voor lichtere materialen. Arbo-technisch is het in ieder geval verstandig het gewicht tot onder de 25 kg te brengen. Een andere oplossing is om de grootte van de panelen aan te passen. De halve panelen die voor het testen zijn vervaardigd wegen 17,7 kg. Deze waren in de omgang een stuk beter te hanteren. Ook zou een tussenmaat van 0,9 m x 1,2 m of 0,9 m x 1,5 m gebruikt kunnen worden. Wat betreft de compositie van de panelen werd de combinatie van grote en kleine panelen door de gebruikers visueel gewaardeerd. Akoestisch waren er geen verschillen tussen de grote en kleine panelen te ontdekken.

Het ophangstelsel uit het bestek, dat ook bij het testen is gebruikt, werkt, maar is niet ideaal. Als er minder panelen verhangen worden, zal dit echter ook minder problemen opleveren. Tijdens het testen zijn de achterplaten van vooral de grote panelen verbogen. Daardoor is bijna geen enkel groot paneel meer op vier haken te bevestigen. Bij toepassing van dit systeem in de nieuwbouw moet rekening gehouden worden met het feit dat de panelen door de gebruikers uit de haken geschoven moeten kunnen worden. Omdat het niet verstandig is dat de docenten en studenten zelf panelen gaan verhangen, wordt aangeraden een systeem op de panelen te bevestigen om dit te voorkomen. Dit systeem kan er dan ook voor zorgen dat de plafondpanelen niet uit de haken kunnen schuiven en naar beneden vallen. Bij het testen werd zowel gebruik gemaakt van horizontale als verticale bevestiging van de panelen op de wanden. Hierbij had in het gebruik de verticale bevestiging de voorkeur. Door de architecten werd als alternatief ophangstelsel het aanbrengen van meerdere rails over de wanden genoemd. Deze rails zouden

dan ook als muziekstandaard kunnen fungeren. Mits de panelen nog voldoende verspreid kunnen worden is dit een goede oplossing. Docenten en studenten zullen deze rails echter niet gebruiken om muziek op te zetten, omdat men een voorkeur heeft niet zo dicht op de wand het instrument te bespelen.

Tenslotte is er nog het punt robuustheid. Zeker bij de panelen in de studieruimtes moet rekening gehouden worden met vandalisme. Bijvoorbeeld het schrijven op de panelen of het doorprikken van de panelen met drumstokken. Ook kan de stof vies worden of verkleuren na verloop van tijd. Wellicht is het mogelijk de stof makkelijk verwisselbaar te maken, zodat deze gewassen of vervangen kan worden. De bevestiging met nietjes, zoals op de testpanelen, lijkt hiervoor niet ideaal. Tevens is het mooier om de stof op de achterkant van het paneel vast te zetten in plaats van op de zijkant.

Mocht er na een half jaar besloten worden een aanpassing te maken op een configuratie van de panelen in een lokaal, dan wordt aangeraden dit op de wanden op te vangen. De panelen op het plafond zijn namelijk moeilijker te verhangen.

Samenvattend is te stellen dat de panelen niet ideaal in het gebruik zijn. Dit zal naar voren komen bij het aanpassen van een configuratie van de panelen. Om de panelen gebruiksvriendelijker te maken zouden het gewicht, en daarmee de materialisering, en het ophangstelsel van de panelen aangepast moeten worden. Van belang is dat de configuraties van de panelen per semester aangepast moeten kunnen worden. Dit dient niet te ingewikkeld te zijn en moet door de conciërges zelf gedaan kunnen worden. Bij voorkeur zit het ophangstelsel niet in het zicht en zijn littekens van verwijderde panelen niet aanwezig of makkelijk weg te werken. Maar er kan ook gekozen worden voor een heel expressief ophangstelsel, dat juist duidelijk visueel naar voren wordt gebracht. Ook moeten de panelen uitgerust worden met een beveiligingssysteem, zodat docenten en studenten de panelen niet zomaar van de wanden kunnen halen.

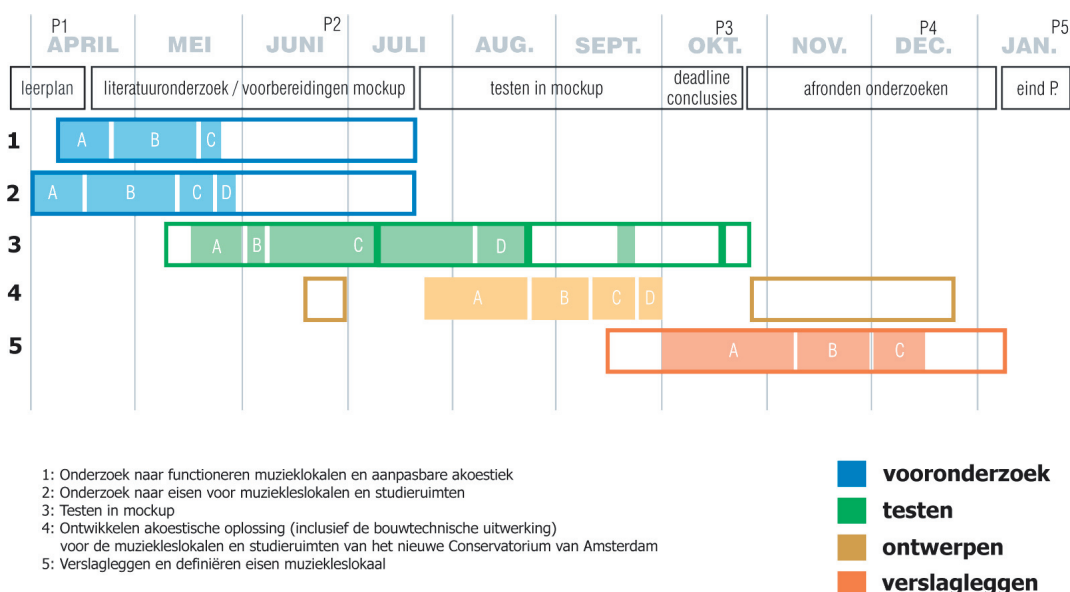
Bij de derde peiling van dit afstudeertraject is besloten dat het ophangstelsel niet verder uitgewerkt zou worden. Een industrieel ontwerper zou hier bijvoorbeeld mee aan de slag kunnen gaan. Mogelijke oplossingen zijn het aanbrengen van rails of het gebruik van magneten en klittenband.

#### Referenties:

- [1] M. Egan, *Architectural Acoustics* (McGraw-Hill, 1988)
- [2] W. Cavanaugh en J. Wilkes, *Architectural Acoustics* (John Wiley & Sons, 1999)
- [3] P. Lord en D. Templeton, *The architecture of sound: designing places of assembly* (Architectural Press Limited, London, 1986)

## 13. Het afstudeerproces

*Bij het leerplan van mijn afstuderen (bijlage A) is, naast de definitie van de deelonderwerpen een planning gevoegd. In figuur 13.1 is te zien dat deze bij mijn tweede peiling in juni al was bijgesteld. Het afstudeerproces is grillig en lijkt, meer nog dan het bouwproces, vaak lastig te voorspellen. Hoe meer partijen bij een project betrokken zijn, des te groter het risico van vertraging is. Omdat het langer duurde dan gepland, voordat er docenten en studenten beschikbaar waren voor de testen, verschoof het testen naar oktober en november, werd het ontwerpgedeelte meer geabstraheerd en kwam het schrijven van het verslag uiteindelijk op januari aan. Tijdens het afstudeeronderzoek is er veel kennis opgedaan en zijn er talloze ideeën ontstaan omtrent akoestische voorzieningen. Ik heb advies uitgebracht voor het Conservatorium van Amsterdam en een model voor verschillende instrumentgroepen opgesteld om de akoestiek te optimaliseren.*



**Figuur 13.1.** Voor de tweede peiling bijgestelde planning.

### Februari 2005:

Als voorbereiding op het afstuderen heb ik voor MSc 3 samen met Michiel Spee een akoestisch onderzoek verricht naar de geluidsproblemen op de tekenzalen van de even verdiepingen van het Bouwkundegebouw. Hierbij worden verschillende geluidsmetingen verricht en wordt een computermodel gebouwd met het programma Catt Acoustic. Verder heb ik me georiënteerd op afstudeeronderwerpen.

### Maart 2005:

Ik heb een gesprek met Peter Heringa van adviesbureau Peutz over mogelijke afstudeeronderwerpen. In het gesprek komen drie onderwerpen naar voren, waarvan het ruimteakoestisch onderzoek naar de leslokalen van het Conservatorium van Amsterdam duidelijk mijn voorkeur heeft. Met aan de ene kant hoofdmentor Lau Nijs en aan de andere kant de opdrachtgever en het management van het nieuwbouwproject, wordt gekeken naar de haalbaarheid van het project als afstudeeropdracht.

### April 2005:

Het leerplan wordt verder uitgewerkt en op de eerste peiling toegelicht. Het literatuuronderzoek is opgestart. Ik kijk naar ruimteakoestiek in het algemeen, naar de werking van muziekinstrumenten, naar onderzoeken over de perceptie van muziek en naar adviezen voor muziekscholen en conservatoria. Verder bekijk ik wat voor referentieprojecten bezocht kunnen worden.

#### Mei 2005:

Het bouwen van de testruimtes wordt definitief geaccordeerd door de bij de bouw betrokken partijen. Ik breng een bezoek aan Mook, een vestiging van Peutz, voor informatie over referentieprojecten. Verder woon ik een bouwvergadering bij om de opzet van de testruimtes vast te stellen. Er wordt besloten deze te bouwen in het huidige gebouw van het CvA aan de Van Baerlestraat. Ondertussen wordt er aandacht besteed aan de literatuurstudie.

#### Juni 2005:

De samenwerking met BTO-mentor Fridjof van den Berg loopt spaak, omdat hij zich niet meer kan vinden in mijn afstudeerproject. Peter van Swieten wordt mijn nieuwe BTO-mentor. Er wordt besloten welk lokaal model zal staan voor de testruimte en er wordt op een bouwvergadering een besluit genomen over de uitvoering van de panelen voor de testen. Ik vervolg het bestuderen van boeken en artikelen en breng een eerste bezoek aan het Rotterdams Conservatorium. De architecten hebben voor de esthetiek twee testpanelen laten vervaardigen. Deze worden in de nagalmkamer in Mook doorgemeten. Gegevens van deze metingen worden, naast de opzet van de testen en de bevindingen uit het literatuuronderzoek bij de tweede peiling gepresenteerd.

#### Juli 2005:

Ik breng een tweede bezoek aan het Rotterdams Conservatorium. Verder wordt een aantal metingen verricht met verschillende testpanelen in de nagalmkamer in Mook. Daaruit wordt de definitieve samenstelling voor de testpanelen vastgesteld. Verder wordt er een opzet gemaakt voor het onderzoek naar de subjectieve aspecten van het bespelen van een instrument in een ruimte. Ik maak een tekening voor de indeling van de panelen in de testruimtes.

#### Augustus 2005:

De enquête *ruimteakoestiek voor muzikanten* gaat online en wordt door 65 respondenten ingevuld. Er wordt een eerste serie nagalmtijdmetingen gedaan in de twee testruimtes. Voor het deelonderzoek variabele akoestiek wordt Cultureel Centrum *Mekelweg 10* te Delft bezocht.

#### September 2005:

De testruimtes zijn opgeleverd. De definitieve panelen zijn doorgemeten in de nagalmkamer in Mook. Er wordt een testopzet voorgesteld en er vindt overleg plaats met de afdeling roostering. Door overspraakproblemen blijkt er niet in de CvA-ruimtes 101 (het restant van de Jan Odézaal) en 101A (de testruimte) naast elkaar gemusiceerd of getest te kunnen worden. Omdat de voorgestelde testvorm te veel tijd vergt van de docenten, wordt er voor een nieuwe testopzet gekozen. Docenten worden gemaïld om aan de testen deel te nemen. Om studenten te werven wordt er een stuk op het intranet van het CvA geplaatst en worden er posters in het gebouw van het CvA opgehangen. Er zijn verschillende objectieve varianten van opstellingen van panelen doorgemeten in de twee testruimtes. Aan het eind van de maand wordt er voor het eerst met docenten in de ruimtes getest.

#### Oktober 2005:

De testweken met lessen van docenten zijn van start gegaan. In de herfstvakantie meet ik nog extra varianten van opstellingen van panelen door om onder andere de invloed van de inrichting vast te stellen. Ook wordt er naar de luidheid gekeken. Als referentiemateriaal voor latere evaluatiegesprekken worden de huidige lokalen van de betrokken docenten doorgemeten. Als referentieproject breng ik een bezoek aan de slagwerkafdeling van het Conservatorium van Detmold (Duitsland). Ook wordt Diemer de Vries geïnterviewd over het elektro-akoestische systeem dat in de aula van de TUDelft geplaatst is. Bezoekers van een bouwproject van een nieuwe popoefenruimte in Amsterdam worden rondgeleid in de testruimtes. Voor de bouwtechnische kant wordt gekeken naar verschillende ophangmogelijkheden van panelen.

**November 2005:**

Er vindt een voortgangsgesprek (derde peiling) plaats. Voor het bouwtechnisch ontwerpgedeelte van mijn afstuderen wordt besloten de aandacht te richten op de toepassingsmogelijkheden van variabele akoestiek. Er worden actief studenten geworven door met een intekenlijst een bezoek te brengen aan het Zeemanshuis, een dependance van het CvA. Hier worden tevens interviews afgenomen met theorie docenten. Met de docenten die deelnamen aan de testweken wordt geëvalueerd en waar nodig nog getest in de testruimte van het leslokaal. Voor de studieruimte wordt een testopzet gemaakt, worden studenten ingeroosterd en wordt er getest. Voor het bouwtechnisch ontwerpen wordt een aanzet gemaakt voor mogelijke toepassingen van variabele akoestiek.

**December 2005:**

Ik breng een bezoek aan het Conservatorium van Tilburg voor de toepassing van variabele akoestiek. Uit de testen met docenten en studenten worden conclusies getrokken. Deze worden vertaald naar een opzet voor het uit te brengen advies. Hierbij wordt de bepaling van de hoeveelheid absorptie opnieuw berekend. Er blijkt bijna de helft bespaard te kunnen worden op de hoeveelheid panelen. Deze resultaten worden gepresenteerd op de Go/NoGo peiling, waar tevens terug wordt gekeken op het totale proces.

**Januari 2005:**

In januari rond ik het adviesrapport af en worden alle aantekeningen en belevenissen uitgewerkt in het afstudeerverslag. Als laatste onderdeel van het afstuderen wordt de publieke eindpeiling voorbereid.



## 14. Conclusies en aanbevelingen

*Het hoofddoel van dit afstudeeronderzoek was een advies uit te brengen voor het optimaliseren van de ruimteakoestiek voor de muziekleslokalen en studieruimtes van het Conservatorium van Amsterdam. Tijdens het onderzoek is een aantal interessante punten naar voren gekomen.*

Er is advies uitgebracht over de gewenste akoestiek voor de leslokalen en studieruimtes van het nieuwe CvA. Dit wordt beschreven in het adviesrapport, dat in bijlage E te vinden is. Er kan voor de nieuwbouw met bijna de helft minder absorptiepanelen volstaan worden dan in eerste instantie was geadviseerd, omdat de effectiviteit van de panelen en absorptie door de inrichting van een ruimte groter bleken dan werd aangenomen, en er een differentiatie is aangebracht voor verschillende instrumentgroepen.

Het model dat met dit onderzoek voor kleine muziekruimtes is opgesteld, wordt gegeven door:

$$RT = p \log V + q \quad [11.6]$$

Hierbij zijn  $p$  en  $q$  constanten, die afhankelijk zijn van de instrumentgroep. Deze constanten zijn gebaseerd op onderzoek met een aantal musici in twee testruimtes. Om deze  $p$  en  $q$  wetenschappelijk beter te onderbouwen, is er meer onderzoek nodig. Met meer participanten is de rol van smaak binnen instrumentgroepen in kaart te brengen. Tevens dient er onderzoek verricht te worden bij meer verschillende volumes. Een testsituatie, waarbij door middel van verschuifbare wanden het volume van de ruimte kan worden aangepast, zou ideaal zijn.

Om een inschatting te maken van het absorberend vermogen van de wandoppervlakken en inrichting van de ruimtes van de nieuwbouw van het CvA, is een model opgesteld, waarmee een schatting voorvan het aantal vierkante meters absorptie ( $y$ ) bepaald kan worden aan de hand van het vloeroppervlak ( $x$ ) van de ruimte. Dit model is als volgt:

$$y = 0,3 x + 1 \quad [4.1]$$

Aan de hand van uitgebreider onderzoek kan dit model wellicht geschikt gemaakt worden voor algemeen gebruik.

De voorkeur voor houten vloeren bleek zowel uit de opgestelde enquête als uit de gesprekken met docenten en studenten. Aan de hand van de definitie van de absorptiecoëfficiënten van houtsoorten en de vakliteratuur kon deze voorkeur niet verklaard worden. Musici vinden hout warmer, natuurlijker en rijker klinken. Het meeresoneren van houten vloeren en het thermische comfort zullen meespelen, maar het is interessant om te onderzoeken hoe sterk de psychologische werking van hout is. Bijvoorbeeld door opnames te maken van instrumenten, die bespeeld worden op verschillende ondergronden.

Luisteraars kan vervolgens gevraagd worden de opnames te beoordelen.

Voor het testen met studenten is het *klankbeeld* gedefinieerd als *het egaal en gelijkmatig klinken van tonen in een ruimte*. Grote reflecterende vlakken, zeker als deze zich dichtbij de musicus bevinden, veroorzaken harde onprettige reflecties. Om deze reden is het voor muziekleslokalen en studieruimtes van belang om voldoende wandabsorptie toe te passen. Om de kwaliteit van dit klankbeeld te beschrijven, zou een model uitkomst kunnen bieden. Van invloed zijn in ieder



geval de soort wandafwerking, de grootte van kale vlakken en de afstand tot de wanden. Het feit dat veel instrumenten geluid meer in het horizontale dan in het verticale vlak projecteren is hier wellicht ook aan te verbinden. Onze oren zijn ook, vooral bij muziek, gevoeliger voor laterale effecten dan voor reflecties van vloer en plafond. Al zijn vroege vloerreflecties wel weer goed voor de *blend*. De vraag is hoe bovenstaande zaken in een model gevat kunnen worden, zodat deze meegenomen kunnen worden bij het bepalen van de akoestische kwaliteit van ruimtes.

## ***Bijlagen:***

# Bijlage A: Het Leerplan

Bouwtechnologie Msc3 Environments  
LEERPLAN  
Marten Valk (1018825)  
15-04-2005



## Leerplan Afstuderen Marten Valk

### Probleemstelling:

Hoe is de akoestische kwaliteit van muzieklokalen en studieruimten, voor het nieuwe Conservatorium van Amsterdam, het beste, door middel van een aanpasbare akoestiek, te optimaliseren.

### Doelstelling:

Ontwikkelen en optimaliseren akoestische oplossing voor de leskamers en studieruimten van het nieuwe Conservatorium van Amsterdam, waarbij de panelen bouwtechnisch worden uitgewerkt en er advies uitgebracht wordt over de specifieke eisen, de aantallen en de gewenste positioneringen van de panelen.

### Mentoren:

Universitair hoofddocent\* (Bouwfysica TU Delft): ir. Rien van der Voorden  
Hoofdmentor (Bouwfysica TU Delft): ir. Lau Nijs  
2e mentor (Bouwtechnisch ontwerpen TU Delft): ir. Peter van Swieten  
Begeleider Peutz: ir. Peter Heringa

\* De vakgroep Bouwfysica Bouwkunde TU Delft heeft geen verantwoordelijk hoogleraar

### Deelonderwerpen:

- Onderzoek naar functioneren muzieklokalen en aanpasbare akoestiek
- Onderzoek naar eisen voor muzieklokalen en studieruimten
- Testen in mockup
- Ontwikkelen akoestische oplossing (inclusief de bouwtechnische uitwerking) voor de muzieklokalen en studieruimten van het nieuwe Conservatorium van Amsterdam
- Verslagleggen en definiëren eisen muzieklokaal

### 1. Onderzoek naar functioneren muzieklokalen en aanpasbare akoestiek

**A:** Opzetten onderzoek

**B:** Bezoeken projecten (enquêtering + onderzoek)

**C:** Conclusies

**Doel:** Inzicht krijgen op de werking van akoestische ingrepen in muzieklokalen en op het gebruik en de werking van aanpasbare akoestiek in de praktijk.

*A.h.v. een selectie van een aantal verschillende oplossingsrichtingen bij verschillende projecten dient er kennis verkregen te worden omtrent toegepaste (aanpasbare) akoestische ingrepen voor muzieklokalen. Hierbij zal gekeken worden naar andere conservatoria en ook naar projecten waarbij de akoestiek in de ruimte aanpasbaar is. Dat wil zeggen door middel van mechanische aanpassingen is te regelen. Er zal onderzocht worden hoe de oplossingen in de praktijk werken (zowel objectief als subjectief). Mogelijk kunnen de toegepaste panelen en ingrepen worden getest op locatie en/of in de mockup.*

Marten Valk  
t: 06 414 67 323  
m: Marten@Valkwerk.NL  
i: www.valkwerk.nl (akoestiek)

## 2. Onderzoek naar eisen voor muzieklokalen en studieruimten

- A:** Zoeken geschikte literatuur
- B:** Literatuur-onderzoek + onderzoek naar subjectieve eisen
- C:** Schrijven (literatuur)verslag
- D:** Opstellen van eisen om te testen
- Doel:** Formuleren van eisen voor muzieklokalen uit de literatuur en de praktijk.

*Wat is volgens de akoestische literatuur de ideale akoestiek voor verschillende instrumenten in muzieklokalen. Welke subjectieve criteria voor docent en student spelen daarbij een rol (galm, definitie, luidheid)? Kunnen deze subjectieve criteria worden gerelateerd aan objectieve criteria? Welke randvoorwaarden spelen een belangrijke rol (afmetingen en verhoudingen ruimte, type instrument, klassieke of lichte muziek)? Het liefst repeteert men / geeft men les in een grotere ruimte. Is dit mogelijk te simuleren en houdt men bij de plaatsing van de leerling in de ruimte rekening met de akoestiek?*

## 3. Testen in mockup

- A:** Eisen voor mockup opstellen (naar aanleiding conclusies onderzoeken)
- B:** Bouwen mockup door aannemer
- C:** Testen in mockup (met terugkoppeling van studenten en docenten)
- D:** Conclusies uit testen opstellen
- Doel:** Eigenschappen voor de verschillende typen leslokalen vaststellen voor het nieuwe Conservatorium van Amsterdam.

*Naar aanleiding van de vooronderzoeken zal vastgesteld worden wat in de "mockup" getest zal worden en hoe deze ruimte er het beste uit kan zien (keuze van de na te bouwen lesruimte). De aannemer zal deze ruimte en de benodigde geluidabsorberende elementen vervaardigen. In de testperiode zullen zowel de objectieve als subjectieve eigenschappen van de ruimte worden bestudeerd. Synchroon met het testen in de mockup, zullen met een computerprogramma voorspellende berekeningen worden gedaan, waaraan de resultaten uit het meten in de mockup zullen worden getoetst.*

## 4. Ontwikkelen akoestische oplossing (inclusief de bouwtechnische uitwerking) voor de muzieklokalen en studieruimten van het nieuwe Conservatorium van Amsterdam

- A:** Conclusies uit testen omzetten in eisen voor aantallen en uitvoering panelen en ruimtelijke indeling
- B:** Bouwkundig uitwerken van panelen/elementen
- C:** Ontwikkelen prototype en deze testen in mockup
- D:** Evalueren en eventuele aanpassingen maken
- Doel:** Ontwikkelen en optimaliseren akoestische oplossing voor leskamers en studieruimten van CvA.

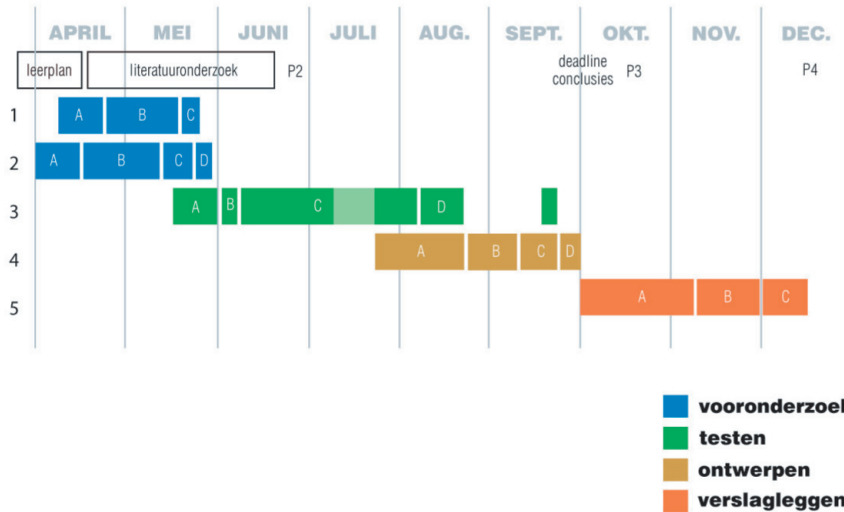
*Hoe kunnen de gevraagde eisen het beste vertaald worden naar akoestische oplossingen? Hoe is aanpasbare akoestiek in de muzieklokalen te verwerken? Hoe wordt dit bouwkundig uitgewerkt? Wat kan er gezegd worden over de productiemethode?*

**5. Verslagleggen en definiëren eisen muziekleslokaal**

- A:** Verslag leggen onderzoeks- en ontwerptraject
- B:** Definiëren objectieve en subjectieve eisen aan muziek leslokalen
- C:** Opstellen ontwerp hulpmiddel voor het ontwerpen van muziekleslokalen
- Doel:** Afhandelen project met terugkoppeling naar de theorie

*Hier zal beschreven worden hoe het onderzoeks- en ontwerptraject verlopen is met een terugkoppeling naar de probleemstelling. Een herdefinitie van de zowel de objectieve als de subjectieve eisen, die aan een muziekleslokaal gesteld worden voor verschillende instrumentgroepen zal toegevoegd worden. Dit kan verder uitgewerkt worden door ontwerpregels/hulpmiddelen op te stellen voor het ontwerpen van muziekleslokalen.*

**Planning:**





# Bijlage B: Enquête "Ruimteakoestiek voor Muzikanten"

Enquête "Ruimteakoestiek voor Muzikanten"  
Afstuderen Marten Valk



*Mijn afstudeeronderzoek richt zich op de akoestiek van muzieklokalen en studieruimten van het nieuw te bouwen Conservatorium van Amsterdam. Tot dusver werd de akoestiek van dergelijke ruimten voornamelijk bepaald door een aanname van de gewenste nagalmtijd en een aanname voor bepaalde lengte-breedte-hoogte-verhoudingen van de ruimte. Hiernaast zijn ook andere (meer) subjectieve aspecten van invloed op het ervaren van de akoestiek. Welke dit zijn en in hoeverre deze een rol spelen tracht ik mede door deze enquête te onderzoeken. De uitkomsten van deze enquête zal ik meenemen in de opzet van het onderzoeksprogramma dat ik met docenten en studenten van het Conservatorium van Amsterdam in twee speciaal gebouwde testruimten zal uitvoeren. Het doel is om voor de uiteindelijke muzieklokalen en studieruimten de akoestiek te optimaliseren en hierbij ook rekening te houden met de subjectieve aspecten binnen de akoestiek. Het invullen kost je ongeveer 10 minuten.*

## Algemene vragen

Wat is je leeftijd? [redacted]

Wat voor instrument(en) bespeel je? [redacted]

Hoe lang bespeel je dit/deze instrument(en)? [redacted]

## Akoestiek repetitieruimte

De volgende vragen gaan over de akoestiek van de ruimte waar je normaal gesproken je instrument bespeelt.

Wat is de functie van deze ruimte? (bijv. "slaapkamer") [redacted]

Hoe groot is het vloeroppervlak van deze ruimte ongeveer? [redacted]

Ga je vanwege de akoestiek op een bepaalde positie binnen deze ruimte staan? [geen mening]

En zo ja, waar is dit afhankelijk van?

- afhankelijk van soort muziek
- afhankelijk van je stemming
- iets anders namelijk [redacted]

Heb je de behoefte om de akoestiek in deze ruimte aan te kunnen passen? Dat wil zeggen dat je met een simpele ingreep de hoeveelheid galm bijvoorbeeld aan zou kunnen passen. [geen idee]

Wat voor cijfer zou je geven aan de akoestiek van deze ruimte? [-]

## Ruimteakoestiek

*Als bespeler van een instrument binnen een ruimte ben je niet alleen de bron, maar ook de ontvanger van het voortgebrachte geluid. Elke ruimte beïnvloedt op haar manier het natuurlijke geluid van je instrument. In een zogenaamde "dode kamer" zijn er geen reflecties omdat alle geluidsgolven worden geabsorbeerd. Daar is alleen het directe natuurlijke geluid van je instrument te horen. Het geluid van het instrument klinkt daar daadwerkelijk 'dood'. Normale ruimten voegen door hun ruimtelijke eigenschappen en materialisering 'iets' aan dit natuurlijke geluid toe. De volgende vragen zijn bedoeld om te kijken wat hierbij als goede toevoegingen wordt 'gehoord'.*

Wat vind je in het algemeen belangrijk aan een ruimte om in te spelen? (meerdere antwoorden mogelijk)

- dat de natuurlijke sound van het instrument niet aangetast wordt.
- dat het instrument niet geforceerd hoeft te worden om goed hoorbaar te zijn.
- dat het geluid door de ruimte gedragen wordt.
- dat alle tonen afzonderlijk goed te horen zijn.
- anders namelijk: [redacted]

Als je in een ruimte speelt waar je nog niet eerder gespeeld hebt, ben je je dan bewust van de akoestiek?

[geen idee]

Wat voor cijfer zou je geven aan de akoestiek van onderstaande ruimten, er van uitgaande dat je er in je eentje repeteert?

Studenten/Studeerkamer (12 m<sup>2</sup>) [geen mening]

Woonkamer (40 m<sup>2</sup>) [geen mening]

Badkamer (8m<sup>2</sup>), alles betegeld, veel galm [geen mening]

Homestudio (15m<sup>2</sup>), veel absorptie, nauwelijks galm [geen mening]

In de buitenlucht zonder reflecterende oppervlakken (op de heide) [geen mening]

Muziekzaal (300 m<sup>2</sup>) redelijk veel nagalm, minder luidheid [geen mening]

Heb je een voorkeur voor een bepaalde soort ondergrond in de ruimte waar je speelt? [geen voorkeur]

Ervaar je verschil met zelf in een ruimte spelen en luisteren naar iemand in die ruimte? [geen mening]

Zo ja, zou je kort kunnen omschrijven waar dat aan ligt?

[redacted]

Stel je andere akoestische eisen aan een ruimte waar je solo in speelt dan een ruimte waar je met anderen in samen speelt?

Zo ja, wat zou je voor de ensemblesituatie aan een ruimte willen veranderen t.o.v. van solo spelen? (meerdere antwoorden mogelijk)

- meer absorptiemateriaal
- minder absorptiemateriaal
- een groter vloeroppervlak in de ruimte
- meer hoogte in de ruimte
- strategisch geplaatste reflecterende oppervlakken
- meer diffusie, dat wil zeggen 'verspreiding van het geluid'
- iets anders namelijk:

Aan spelen in welke ruimte (van dezelfde grootte) geef je als je alleen speelt de voorkeur?

#### Absorptiepanelen

Om de hoeveelheid galm in een ruimte te verminderen zijn er verschillende absorberende materialen en elementen. Ook veel materialen, die in eerste instantie niet het doel hebben om geluid te absorberen, werken mee aan het geluidsabsorberende vermogen van een ruimte. In ruimten met een muzikale functie zijn vaak extra akoestische absorberende elementen toegevoegd. Meestal in de vorm van akoestische absorberende wand- en plafondpanelen.

Als je je in een ruimte met muzikale functie begeeft, ben je je dan bewust van de aanwezigheid van dergelijke panelen?

Zo ja, welk woord komt het eerste in je op als je kijkt naar de vormgeving en materialisering van akoestische absorptiepanelen?

#### Akoestische parameters, de perceptieve criteria

Om een inschatting te maken hoe de subjectieve ervaring van de akoestiek in ruimten, zoals muzieklokalen is, wil ik je vragen voor de volgende akoestische parameters\* aan te geven in hoeverre jij ze belangrijk vindt voor de akoestiek in een muzieklokaal. Het gaat hierbij om inzicht te krijgen in de verhoudingen tussen de verschillende parameters. Voor de verschillende parameters kun je aangeven in hoeverre (van "totaal geen" tot "toonaangevend") ze van invloed zijn voor de akoestiek in een muzieklokaal.

"Liveness": het 'meeklinken' van een ruimte, de subjectieve perceptie van galm.

"Warmth": de 'warmte' van het geluid, waarin de aanwezigheid van lage tonen een belangrijke rol speelt.

"Brilliance": de 'helderheid' van de muziek, waarin de aanwezigheid van hoge tonen een belangrijke rol speelt.

"Definition": te omschrijven als 'muziekverstaanbaarheid', de mate waarin opeenvolgende geluiden ook afzonderlijk hoorbaar zijn.

"Spatial impression": de mate waarin men de muziek als 'ruimtelijk' ervaart, zich omspoeld voelt door het geluid.

"Loudness": luidheid, subjectief ervaren sterkte van het geluid.

"Dynamic range": het waarneembare luidheidsverschil tussen luide en zachte passages.

"Attack" / "Support": de mate waarin de musicus zich 'gesteund' voelt door het meeklinken van de ruimte.

\*: definities van dr. ir. Diemer de Vries

#### Slot

Hartelijk bedankt voor het invullen van de enquête. De uitkomsten zullen binnenkort te lezen zijn op [www.valkwerk.nl](http://www.valkwerk.nl) (station akoestiek). Als je nog op- en/of aanmerkingen hebt, dan kun je die hieronder kwijt:

Wil je per mail op de hoogte gesteld worden van de uitkomsten uit de enquête, vul dan hier je mail-adres in:



# Bijlage C: Formulier "Testweken" met docenten

## Testresultaat Akoestiek proefopstelling

1. Datum:

2. Hoofdvak:

3. Wat vond u van de akoestiek bij de huidige opstelling van de panelen?

Graag aankruisen wat van toepassing is:

<input type="checkbox"/>	te droog, onprettig
<input type="checkbox"/>	nogal droog maar is eventueel bruikbaar
<input type="checkbox"/>	een beetje droog maar verder goed bruikbaar
<input type="checkbox"/>	prettige akoestiek, werkt fijn
<input type="checkbox"/>	een beetje te akoestisch maar verder goed bruikbaar
<input type="checkbox"/>	nogal veel akoestiek maar is evt. bruikbaar
<input type="checkbox"/>	overakoestisch, onprettig

Hieronder graag een kruis in het vakje dat het dichtst komt in de buurt van uw waardering. Middelste vakje betekent neutraal oordeel.

4. Algemene waardering van de akoestiek:

slecht	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	goed
--------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	------

5. Waardering Galm:

(te) droog	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(te) sterk galmend
------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------

6. Waardering Luidheid:

(te) zwak	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(te) luid
-----------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	-----------

7. Trilde de armatuur van de lampen bij het spelen van bepaalde tonen?

Omcirkelen wat van toepassing is:

Ja / Nee

8. Eventuele opmerkingen:

Voor een eventuele mondelinge toelichting over uw ervaringen, vragen over akoestiek of een afspraak kan u terecht bij de akoestisch adviseur: [marten@valkwerk.nl](mailto:marten@valkwerk.nl) of via [e.groot@ahk.nl](mailto:e.groot@ahk.nl).

Hartelijk dank!

# Bijlage D: Formulier "Testweken" met studenten

## Akoestische test - Acoustic test: Conservatorium van Amsterdam "Studieruimte"

Welk instrument bespeel je? / *What's your instrument?* .....

Hoeveel uur per week oefen je individueel in een kamer op het conservatorium?  
*How many hours a week do you practice individually in a room of the conservatory?* .....

Wat is voor je sound het belangrijkste, het instrument dat je bespeelt of de eigenschappen van de ruimte waarin je speelt?  
*What's more important for your sound? The instrument (type etc.) you're playing or the qualities of the room where in you're playing?*

- only instrument exerts influence on sound
- instrument is more important
- instrument is a little more important
- comparable
- room qualities are a little more important
- room qualities are more important
- only room exerts influence on sound

Welke ondergrond heeft jouw voorkeur?  
*Which ground do you prefer?*

- vloerbedekking / carpet
- hout / wooden
- zeil / linoleum
- steen / stone

Omdat... / *Because...*

.....

Wat vind je van de mogelijkheid om de akoestiek te kunnen variëren in een ruimte? Denk je dat je daar gebruik van zou maken of heb je liever een goede basis akoestiek?  
*What's your opinion about the possibility to vary the acoustics of a room? Should you use it or do you prefer good standard acoustics?*

.....

Hoe belangrijk vind je de volgende zaken voor de akoestiek van een studieruimte? (verdeel over 100%)  
*How important are the following parameters for the acoustic quality of a study room? (distribute to 100%)*

- galm / reverb
  - luidheid / loudness
  - ruimtelijkheid / spaciousness
  - egaal klankbeeld / even sound-picture
- =100%

### **Galm / Reverb**

Of de hoeveelheid (na)galm in de ruimte prettig is. Deze kan variëren van heel droog (je hoort alleen direct geluid van je instrument) tot heel galmend (tonen blijven zo lang weerklinken als in een kerk).

*Is the amount of reverb in the room pleasant? It can vary from very dry (like you hear only the direct sound of your instrument) to very reverberant (like playing in a church).*

### **Luidheid / Loudness**

Of het niveau van de luidheid in de ruimte prettig is. Deze kan variëren van laag (je moet forceren om je zelf te horen) tot hoog (het geluidsniveau van je instrument is veel te hoog).

*Is the loudness level in the room pleasant? It can vary from low (you've to force your instrument) to high (it's far too loud).*

### **Ruimtelijkheid / Spaciousness**

Of het geluid van alle kanten komt. Het kan zijn dat geluid alleen direct van je instrument lijkt te komen of juist dat je door het geluid omspoeld wordt.

*Does the sound arrive from all directions? It's possible that you only hear sound from the instrument direction or otherwise you have the feeling of being surrounded by sound.*

### **Egaal klankbeeld / Even sound-picture**

In hoeverre (verschillende) tonen gelijkmatig en niet hol klinken. Denk hierbij vooral aan hoe de reflecties van de wandoppervlakken op je over komen.

*Is the sound quality of (different) tones even? Does it not sound boxy? This mainly has to do with the properties of the reflections from the surfaces.*

Wat voor cijfer zou je de verschillende varianten geven?  
*Could you give the different variants a mark out of ten?*

**VARIANT 1**

**VARIANT 2**

**VARIANT 3**

Hoe ervaar je de verschillende akoestische zaken?  
*What's your opinion about the acoustic parameters?*

VARIANT 1	VAR.2	VAR.3
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Reverb**

- much too dry, unpleasant
- too dry
- a little too dry
- pleasant amount of reverb
- a little too reverberant
- too reverberant
- much too reverberant

VARIANT 1	VAR.2	VAR.3
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Loudness**

- I've to force very much
- I've to force
- I've to force a little
- pleasant loudness
- It's a little loud
- It's too loud
- It's far too loud

VARIANT 1	VAR.2	VAR.3
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**Spaciousness**

- I only hear direct sound
- I'm hardly surrounded by sound
- The surrounding by sound is small
- The surrounding by sound is average
- I'm quite surrounded by sound
- I'm strongly surrounded by sound
- I'm surrounded completely

VARIANT 1	VAR.2	VAR.3
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

**(Even) sound-picture**

- The sound is very boxy (hard reflections)
- The sound is quite boxy
- The sound is a little boxy
- The sound-picture is neutral
- The sound is quite regular
- The sound is soft and very regular
- The sound is very soft and broad

Wat vind je prettig aan de testruimte?

*What do you like of the test room?* .....

Wat vind je onprettig aan de testruimte?

*What do you dislike of the test room?* .....

Als je iets aan de opbouw van de testruimte mocht veranderen. Wat zou je dan veranderen?

*If you could change something on the building of the test room? What would be your choice?*

- oppervlak / area
- hoogte / height
- wandafwerking / finishing of wall
- ondergrond / ground
- .....

Kun je nog eens de procenten verdelen voor de akoestische parameters in deze testruimte?

*Could you distribute the percentages over the acoustic parameters for this test room once more?*

- galm / reverb
- luidheid / loudness
- ruimtelijkheid / spaciousness
- egaal klankbeeld / even sound-picture

=100%

Wat vind je vervelender om in te studeren? Een te galmende of een te droge ruimte?

*What do you dislike more? Too much reverb or too much lack of reverb?*

.....

# Bijlage E: Adviesrapport



## Rapport

Conservatorium van Amsterdam;  
*onderzoek naar ruimteakoestische voorzieningen voor de  
leslokalen en studieruimtes van de nieuwbouw*

Rapportnummer T 971-20 d.d. 6 januari 2006

Oprichtgever: Conservatorium van Amsterdam

Rapportnummer: T 971-20

Datum: 6 januari 2006

Ref.: PH/MVa/CW/T 971-20-RA

Lid ONRI  
ISO-9001: 2000 gecertificeerd

Peutz bv  
Paleisingel 2, Postbus 696  
2700 AR Zoetermeer  
Tel. (079) 347 03 47  
Fax (079) 361 49 85  
info@zoetermeer.peutz.nl

Peutz bv  
Lindenlaan 41, Molenhoek  
Postbus 66, 6585 ZH Mook  
Tel. (024) 357 07 07  
Fax (024) 358 51 50  
info@mook.peutz.nl

Peutz GmbH  
Kolberger Strasse 19  
40599 Düsseldorf  
Tel. +49 211 999 582 60  
Fax +49 211 999 582 70  
dus@peutz.de

Peutz S.A.R.L.  
34 Rue de Paradis  
75010 Paris  
Tel. +33 1 452 305 00  
Fax +33 1 452 305 04  
peutz@club-internet.fr

Peutz bv  
PO Box 32268  
London W5 2ZA  
Tel. +44 20 88 10 68 77  
Fax +44 20 88 10 66 74  
peutz.london@tiscali.co.uk

www.peutz.nl

Oprachten worden aanvaard  
en uitgevoerd volgens de  
'Regeling van de verhouding  
tussen opdrachtgever en  
adviserend ingenieursbureau'  
(RVOI-2001). Ingeschreven  
KvK onder nummer 12028033.  
BTW identificatienummer  
NL004933837B01

## Inhoud

pagina

1. INLEIDING	3
2. HET ERVAREN VAN DE RUIMTEAKOESTIEK	4
2.1. Wat maakt akoestiek comfortabel?	4
2.2. Indeling instrumentgroepen	6
3. DE TESTEN	10
3.1. Metingen	10
3.1.1. De breedbandabsorptiepanelen	10
3.1.2. De twee testruimtes	10
3.1.3. De huidige lokalen	11
3.2. Opzet van de testen	11
3.2.1. Docenten in het leslokaal	11
3.2.2. Studenten in de studieruimte	12
3.3. De resultaten	13
3.3.1. Instrumentgroepen in het leslokaal	13
3.3.2. Drie akoestieken voor de studieruimten	14
4. OVERIGE ASPECTEN	16
4.1. Het variëren van de akoestiek	16
4.2. Functionele aspecten	16
4.3. De verdeling, de opbouw en het gebruik van de panelen	17
5. HET AANTAL PANELEN	19
BIJLAGE I Overzicht absorptiepanelen leslokalen	



## 1. INLEIDING

Het Conservatorium van Amsterdam heeft in samenspraak met de bij de bouw betrokken partijen besloten verdergaand onderzoek te verrichten naar de gewenste akoestische voorzieningen voor de leslokalen en studieruimtes voor de nieuwbouw. Dit onderzoek is uitgevoerd door een student als afstudeeropdracht voor de faculteit Bouwkunde van de TU-Delft.

Het Conservatorium van Amsterdam staat nationaal en internationaal hoog aangeschreven. Om het topniveau van docenten en studenten te kunnen handhaven worden zeer hoge eisen gesteld aan de akoestische kwaliteit van de leslokalen en studieruimtes. In verband met deze hoge eisen enerzijds en met de meerkosten van hogere verdiepingen anderzijds is in het ontwerp aangestuurd op een compromis. De verdiepingshoogte, en daarmee de volumes van de ruimtes, zijn over het algemeen geringer dan bij de huidige huisvesting. Echter zijn de volumes van de ruimtes wel groter dan bij andere conservatoria. Naast voldoende volume om de instrumenten tot hun recht te laten komen zijn, in verband met de akoestiek, wanden schuin geplaatst en zijn bepaalde ruimtelijke verhoudingen aangehouden.

Naast de afmetingen van een ruimte is de afwerking van de wanden en de aanwezige hoeveelheid absorptie bepalend voor de kwaliteit van de ruimteakoestiek. Verschillende instrumenten komen het beste tot hun recht in verschillende akoestische milieus. Om deze verschillende milieus te kunnen definiëren hebben de toekomstige gebruikers, de docenten en studenten van het conservatorium, geparticipeerd in het onderzoek. Met de verkregen testresultaten is op deze manier een goede inschatting te maken voor de benodigde hoeveelheid absorptie voor de leslokalen en studieruimtes op basis van subjectieve ervaring.

Om ruimte te bieden aan de gewenste aanpasbare akoestiek wordt er de mogelijkheid geboden aanpassingen te maken in de configuratie van de panelen en daarmee in de akoestische milieus. Zo kan de hoge kwaliteit voor de ruimteakoestiek van de leslokalen en studieruimtes gewaarborgd worden.

## 2. HET ERVAREN VAN DE RUIMTEAKOESTIEK

### 2.1. Wat maakt akoestiek comfortabel?

Een comfortabele akoestiek houdt in dat de ruimte prettig te bespelen is, het natuurlijke geluid van het instrument niet wordt aangetast, het creatieve proces niet in de weg gestaan wordt en het niet vermoeiend is om langer in de ruimte te verblijven. Voor docenten is het daarom van belang dat de instrumenten niet te luid klinken en het geheel niet zo galmend is dat het moeite kost om de verschillende tonen te kunnen onderscheiden. Studenten worden in de lessituatie juist gesteund door galm en kunnen zo lekker musiceren. In de studieruimtes wordt individueel geoefend waardoor de akoestiek daar vaak wat droger en dus confronterender mag zijn.

Over het algemeen kan gesteld worden dat de akoestiek goed is als deze eigenlijk niet opgemerkt wordt. Ditzelfde geldt voor andere comfortaspecten als licht- en luchtkwaliteit. Zoals de luchtkwaliteit bepaald wordt door een aangename temperatuur, aangename luchtvochtigheid en voldoende ventilatie zijn er ook verschillende aspecten van invloed op de akoestische kwaliteit in een ruimte. De belangrijkste worden hieronder toegelicht.

De meest bekende parameter is de **nagalmtijd**. Deze geeft aan in welke tijd een geluid in een ruimte uitsterft. De nagalmtijd is afhankelijk van het volume van de ruimte en de aanwezige hoeveelheid absorptie. Door het toevoegen van de akoestische "kussens" kan in de verschillende lokalen de gewenste nagalmtijd verkregen worden. De nagalmtijd is frequentieafhankelijk. Dat wil zeggen dat deze op verschillende terts- en octaafbanden verschilt. In dit rapport wordt de nagalmtijd in de octaafband van 500 Hz als uitgangspunt genomen. In combinatie met een goede bass-ratio geeft dit een goed beeld van de ervaring van de hoeveelheid nagalm in een ruimte.

De **luidheid** zegt iets over de hoeveelheid geluidsenergie in de ruimte en is net als de nagalmtijd afhankelijk van het volume van de ruimte en de hoeveelheid aanwezige absorptie. Hoe meer geluid er geabsorbeerd wordt hoe lager de luidheid. Muziekinstrumenten kunnen veel geluidsenergie ontwikkelen in een ruimte. Lang spelen in een te luide ruimte is onprettig en vermoeiend. Daarentegen kunnen ruimtes soms zo droog zijn dat je het gevoel hebt dat je je instrument moet forceren.

Ruimteakoestiek begeeft zich op het spanningsveld tussen voldoende galm om comfortabel te kunnen spelen en voldoende absorptie zodat het geluid niet te luid wordt. Er moet voldoende articulatie zijn, maar je moet niet je instrument moeten forceren om muziek te maken. Dit spanningsveld ligt per instrument, per persoon, per ruimte en dergelijke op een andere plaats. Ook zijn er verschillen voor samenspelen en solo spelen. Naast de nagalmtijd en de luidheid zijn er nog een aantal aspecten die van invloed zijn.

De **bass-ratio** omvat de verhouding tussen de nagalm in lage frequenties ten opzichte van hoge frequenties. In het huidige conservatorium is deze verhouding in de meeste lokalen enigszins uit verband. Vloerbedekking en de toegepaste absorptiematerialen werken vooral bij de midden en hoge frequenties, waardoor de nagalmtijd bij lage frequenties een stuk langer is. Het geluid klinkt daardoor dof en niet echt helder. Voor de nieuwbouw worden breedbandpanelen toegepast. Deze absorberen op alle frequenties ongeveer gelijk. Hierdoor wordt de nagalmtijdcurve veel egalier en is de bass-ratio beter in verhouding. Omdat de bass-ratio met het testen niet was te variëren zal hier verder niet op in worden gegaan. Het toepassen van breedbandabsorptie is een goed uitgangspunt.

In een concertzaal is het sterk van belang dat je het gevoel hebt dat je omspoeld wordt door het geluid. De **ruimtelijkheid** is daar erg belangrijk. In leslokalen is deze ruimtelijkheid minder van belang, maar een beetje ruimtelijk gevoel is voor het bespelen van een instrument wel aangenaam. Dit verschilt echter sterk per instrument. Een blokfluit heeft meer behoefte aan geluid van alle kanten dan een elektrisch versterkte basgitaar. Bij een redelijke verdeling van de absorptie door een ruimte is de ruimtelijkheid evenredig aan de nagalmtijd.

Bij de eigenschappen van een ruimte horen staande golven- of resonantiepatronen. Als deze patronen sterk aanwezig zijn kleuren ze het geluid. Sommige frequenties worden versterkt waardoor het **klankbeeld** niet egaal is. Dit kan onaangenaam zijn en het bespelen van een instrument storen. De resonantiefrequenties zijn afhankelijk van de afmetingen van de ruimte. Bij een grote ruimte zoals een concertzaal ligt het kritische gebied van de frequenties buiten het menselijk gehoor. Hoe kleiner de ruimte wordt, hoe sterker deze resonantiepatronen hoorbaar worden. Door het toepassen van voldoende absorptie op de juiste plaatsen kunnen de resonantiefrequenties afgezwakt worden. Ook het scheef zetten van wanden heeft een positieve uitwerking op de hoorbare resonantiefrequenties. Daarnaast helpt het scheef zetten tegen flutterecho's. Naast sterke resonantiepatronen kunnen ook harde reflecties hinderlijk zijn bij het maken van muziek. Grote oppervlakken van hard reflecterend materiaal kunnen het geheel "ketserig" laten klinken. Deze harde reflecties kunnen verhinderd worden door het toepassen van diffusoren, die het opvallende geluid goed verspreiden in plaats van hard terugketsen. Dit is echter een dure ingreep en voor de toepassing in leslokalen overdreven. In het algemeen wordt het klankbeeld egalier met een toename van de hoeveelheid absorptie. Wel is het van belang deze goed over de ruimte te verspreiden.

## 2.2. Indeling instrumentgroepen

Voor het bespelen van verschillende instrumenten worden verschillende eisen gesteld aan de akoestiek. Koperblazers zullen vanwege de luidheid in kleinere ruimtes meer absorptie vragen dan houtblazers. Een fluit vraagt om meer support van de ruimte waardoor er niet te veel absorptie in de ruimte aanwezig mag zijn om comfortabel te kunnen spelen. In diezelfde ruimte zou een drummer gek worden van het te luide drumgeluid, de harde reflecties van de grond en het ondefinieerbare geluid. Instrumenten met vergelijkbare akoestische eisen zijn ingedeeld in 'instrumentgroepen'. Hieronder wordt per instrumentgroep uiteengezet wat belangrijke beoordelingspunten zijn, die bij het testen naar voren kwamen.

### Jazzblazers (Jazz):

- De harde vloer wordt gewaardeerd. Deze is goed voor de "blend" bij ensembles, terwijl de instrumenten ook afzonderlijk nog duidelijk te horen zijn.
- Met het oog op de grootte van de jazzblazers lokalen van de nieuwbouw (+/- 25 m<sup>2</sup>) wordt aangeraden de sectie-ensembles in de koperensemble ruimte te roosteren. Functioneel waren hier bezwaren tegen. Een alternatief is eventueel variabele akoestiek door middel van een gordijn aan de glasgevelzijde.

### Koperblazers (Klassiek):

- Prefereren iets meer galm dan jazzblazers.
- Voor tuba is het fijn dat de nagalmtijdcurve redelijk vlak loopt, waardoor het instrument helderder klinkt.

### Houtblazers (Klassiek):

- In de leslokaaltestruimte is niet met houtblazers getest. Advies wordt gegeven op inschatting en op basis van het testen in de studieruimte.

### Fluiten (Klassiek):

- Vooral de blokfluit heeft de energie van een ruimte nodig om tot zijn recht te komen. De ruimte is op te vatten als een "verlengstuk" van de blokfluit. Deze mag dus zeker niet te klein of te droog zijn.
- Bij blokfluit wordt ook veel met elektronica gewerkt en is er vaak publiek aanwezig bij de lessen. De voorkeur is er voor het lesgeven in een zaaltje.
- Vanwege het dynamische karakter van de lessen moet het mogelijk zijn dat mensen in en uit kunnen lopen zonder dat dat de lessen stoort.
- Bij fluit is het niet fijn als de reflecties nadrukkelijk van de wanden terug komen. Omdat er vanwege de galm minder absorptie aanwezig is, wordt de goede verdeling hiervan belangrijker.
- Dwarsfluit heeft een voorkeur voor een gordijn bij het samenspelen met piano en andere instrumenten.



## Snaarinstrumenten (Klassiek):

- Met akoestische snaarinstrumenten als harp en gitaar zijn geen testen verricht. De inschatting wordt gemaakt op basis van de andere instrumentgroepen. Het zijn instrumenten die niet zo luid zijn en graag wat support van de ruimte hebben voor het opbouwen van de klank.

## Piano (Klassiek/Jazz):

- Belangrijk aspect bij piano's en vleugels is dat men niet het eigen instrument meeneemt. Daardoor wordt bij het beoordelen van de akoestiek de kwaliteit van het instrument in de ruimte meegenomen.
- Het is van belang dat een vleugel niet te dicht op (harde) wanden is geplaatst omdat het door de vroege en sterkere reflecties dan te luid kan worden. Bij het meer naar het midden van de ruimte plaatsen verbetert de ruimtelijkheid aanzienlijk. Dit maakt dat er binnen dezelfde configuratie van de panelen verschillen kunnen zijn in het beoordelen van de akoestiek.
- Bij de vleugel is het van belang dat de klep naar de ruimte toe open gezet kan worden en dat de instrumentalisten in de ronding van de vleugel plaats kunnen nemen.

## Orgel (Klassiek):

- Hier is niet mee getest. Inschatting is gemaakt dat dit instrument een voorkeur heeft voor een redelijk galmende omgeving.

## Strijkers (Klassiek):

- De strijkers vonden de testruimte enigszins artificieel klinken. Warmte in de klank vinden ze erg belangrijk. De ruimte klinkt enigszins schel. Meer diffusie en houten elementen zouden dit verbeteren. In elk geval is van belang dat de panelen zo goed mogelijk over de ruimte verdeeld worden.
- Voor cello wordt het samenspelen met piano maatgevend geacht voor de akoestiek.

## Elektrisch versterkt (Jazz):

- De ruimte moet het instrument niet teveel kleuren. Dat kunnen ze namelijk met hun eigen apparatuur. Te veel galm krijg je niet meer uit de ruimte. Voorkeur voor een relatief droge ruimte, maar als het te droog wordt, is dit oncomfortabel.
- De plaatsing van de luidsprekers kan invloed hebben op het geluid. Dit is vooral bij een actieve luidspreker voor bas het geval. Het heeft ook de voorkeur deze basversterker niet "koud" op de vloer te plaatsen, omdat de vloer dan "mee kan gaan doen".
- Bij het voluit spelen in de studieruimte testruimte gingen de armaturen meetrillen. Dit was niet heel storend en minder luid spelen bood uitkomst.

## Contrabas (Jazz):

- Een harde vloer is akoestisch prettig en zorgt voor duidelijke klank. Functioneel moet er een oplossing komen tegen het wegglijden van de bas.

## Zang (Klassiek/Jazz):

- Akoestiek moet niet te "lief" zijn. Het is immers een leslokaal.
- Bij het samenspelen met piano zou het aangenaam zijn als de akoestiek eventueel aangepast zou kunnen worden.

## Slagwerk niet-melodisch (Klassiek/Jazz):

- Voor drums en het andere "pulsieve" slagwerk dient er vloerbedekking te komen. Dit voorkomt het wegglijden van de instrumenten en de vroege harde reflecties van bijvoorbeeld de snaredrum naar de grond. Het geluidsniveau kan zo bij de bron al wat omlaag gebracht worden. De vloerbedekking hoeft geen superhoogpolig tapijt te zijn, maar ook geen studententapijt. Het tapijt in 147/148 voldoet.
- Het geluid moet ook niet kurkdroog zijn, omdat een beetje klank van de ruimte het geluid meer doet leven.
- Er is een voorkeur voor een wat egalere geluid. De breedbandpanelen dienen daarom zo goed mogelijk over de ruimte verspreid te worden. De cymbals mogen bijvoorbeeld niet te keisterig klinken.
- Voor klassiek slagwerk bij combinatie van niet-melodisch en melodisch slagwerk is er een voorkeur voor een harde vloer met matten voor het niet-melodische slagwerk. Als dit niet mogelijk is, voorkeur voor vloerbedekking. Variabele akoestiek wordt geprefereerd voor de ensembles.

## Mallets (Klassiek):

- Voor de klankopbouw van vibrafoon, xylofoon en marimba is een harde vloer prettig.

## Pauken (Klassiek):

- De instrumenten zijn zelf al heel akoestisch. Dat betekent dat de ruimteakoestiek daar in mee moet gaan, maar niet moet gaan overheersen.
- Het instrument is erg luid, waardoor er voldoende absorptie aanwezig dient te zijn.
- Er wordt in de lessen veel meegespeeld met orkestregistraties. Geluid van de boxen moet zich dan goed mengen met het geluid van de pauken. Boxen dienen daarom hoog in de ruimte bevestigd te worden.

## Koperensemble (Klassiek/Jazz):

- Vanwege de hoge luidheidniveau dient er voldoende absorptie aanwezig te zijn.

## Jazzcombo/Popband (Jazz):

- Omdat er in deze lokalen met drums gewerkt wordt dient er vloerbedekking te komen. Dit drukt het totale geluidsniveau ook nog iets.

Klassiek ensemble (Klassiek):

- Met een klassiek ensemble zijn nog geen testen gedaan. Er is voorlopig een inschatting gemaakt op basis van de verwachte luidheid met voldoende galm om de levendigheid van het samenspel te behouden.

Theorie algemeen (Klassiek/Jazz):

- Voor de theorielokalen is uitgegaan van een gemiddelde absorptiecoëfficiënt van 0,25 (inclusief de inrichting). Dit geldt voor klaslokalen als een goede richtlijn.

Theorie solfège (Klassiek/Jazz):

- Bij de solfège lessen wordt veel gezongen door onervaren zangers. Zij hebben voldoende steun van de ruimte nodig, maar bij de luisterdictees is het ook van belang dat er voldoende definitie is.



## 3. DE TESTEN

### 3.1. Metingen

#### 3.1.1. De breedbandabsorptiepanelen

De breedbandabsorptiepanelen zijn voor het gebruik in de twee testruimtes in de nagalmkamer doorgemeten. De panelen blijken beter te absorberen dan waar bij het eerdere advies van uit was gegaan. De effectiviteit is groter en omdat het houten frame mee lijkt te absorberen is het effectief oppervlak van de panelen groter. Vanaf ongeveer 80 Hz absorberen de ontworpen kussens ongeveer gelijkmatig 100%. In de testruimtes bleek het absorberend vermogen van de panelen soms nog groter te zijn. Dit is te wijten aan het effectief aanpakken van staande golfpatronen. Bij metingen in de twee testruimtes werden geen verschillen gemeten tussen de grote panelen (zoals in het bestek uitgetekend) en de kleine panelen (half zo grote panelen die voor het testen gefabriceerd zijn). In tegenstelling tot metingen in de nagalmkamer bleek het in de testruimtes nauwelijks verschil uit te maken of de panelen tegen elkaar aan geplaatst zijn of vijftien centimeter uit elkaar geplaatst worden. Echter bleek een betere verspreiding van de panelen in totaal wel degelijk tot een hoger absorberend vermogen te leiden.

#### 3.1.2. De twee testruimtes

Voor het onderzoek is er zowel een testruimte gebouwd als model voor een muziekleslokaal ( $30,3 \text{ m}^2/106,2 \text{ m}^3$ ) als voor een studieruimte ( $10,3 \text{ m}^2/28,2 \text{ m}^3$ ). De ruimtes zijn opgebouwd uit metalstud-wanden en -plafond en de vloer is bedekt met linoleum, een akoestisch harde vloer. Bij de testruimte van het muziekleslokaal is de entreewand als glasgevel uitgevoerd om de daglichtinval van de nieuwbouw te simuleren. Bij beide ruimtes zijn een aantal wanden scheef geplaatst omwille van de akoestiek. Door het toevoegen of het weghalen van de breedbandabsorptiepanelen zijn de eerder genoemde akoestische parameters in de ruimte te variëren. Naast de ontworpen kussens zijn er ook andere absorberende elementen in de ruimte aanwezig. Meubilair, instrumenten, mensen en dergelijke zorgen voor extra absorptie in de ruimte. Ook absorberen de gipsplaten, de vloer en de glaswand een paar procent. Dit samen kan gesteld worden op ongeveer  $10 \text{ m}^2$  absorptie op de 500 Hz octaafband in de leslokaaltestruimte. Dit komt overeen met ongeveer 6 panelen.

Met de panelen is de nagalmtijd in het leslokaal te variëren van 0,25 tot 1,7 seconde. Het verschil in luidheid kan tussen de twee uitersten oplopen tot 10 dB. Dit betekent 10 keer zoveel geluidsenergie. 10 dB meer wordt ervaren als twee keer zo hard. In de studieruimte is de variatie in de nagalmtijd 0,20 – 1,1 seconde en het verschil in luidheid 6 dB.

### 3.1.3. De huidige lokalen

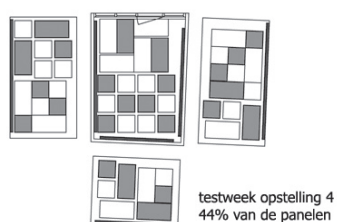
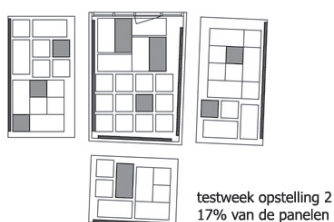
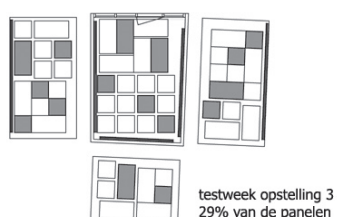
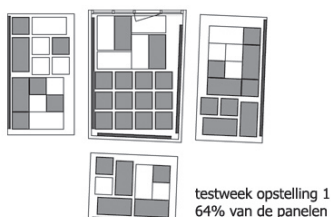
In de huidige lokalen van de participerende docenten zijn ook nagalmtijd metingen verricht.

Hieruit bleek dat de bass-ratio in de meeste lokalen niet ideaal is. Door de vloerbedekking, gordijnen en andere aanwezige absorptie worden vooral de hoge frequenties geabsorbeerd. Hierdoor klinken de instrumenten doffer dan gewenst is. In de gesprekken met de docenten kwam ook naar voren dat de lokalen in het algemeen te veel galm bevatten.

### 3.2. Opzet van de testen

#### 3.2.1. Docenten in het leslokaal

In de leslokaaltestruimte heeft een groep docenten in vier verschillende akoestische milieus lesgegeven. Tijdens de lessen in deze testweken werden door de docenten vragenlijsten ingevuld met de beoordeling van de ruimteakoestiek van de vier opstellingen. Gevraagd werd naar een algemene beoordeling van de akoestiek, de beoordeling van de hoeveelheid galm en de beoordeling van het luidheidsniveau. Na beoordeling van onderstaande vier varianten kan een inschatting gemaakt worden hoeveel panelen voor een bepaald instrument gewenst zijn. De varianten hebben respectievelijk nagalmtijden van ongeveer 0,4, 0,9, 0,6 en 0,5 seconde. Het luidheidsverschil tussen de meest galmende en de droogste variant bedraagt 4,5 dB.

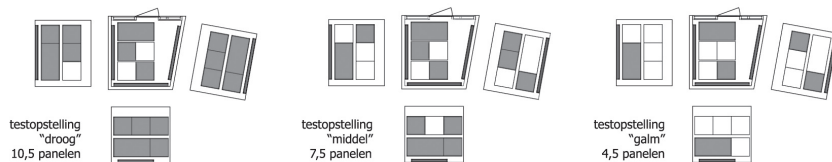


Na afloop van de testweken heeft er met de betrokken docenten een evaluatiegesprek plaatsgevonden. Met een aantal docenten is daar ook nog verder geëxperimenteerd op zoek naar een gewenste configuratie van de panelen.

Van de afdeling klassiek is getest met slagwerk, piano, solfège/theorie, pauken, tuba, trombone, dwarsfluit, blokfluit, altviool, cello en zang. Van de jazzafdeling met saxofoon(combo), trombone(combo), trompet(combo), drums, basgitaar, contrabas en solfège/theorie (alleen gesprekken).

### 3.2.2. Studenten in de studieruimte

In de studieruimte is getest met studenten. In groepen van maximaal drie studenten werden drie of vier varianten bekeken. Bij deze testen is verder ingegaan op de akoestische parameters. Naast een beoordeling van de nagalmtijd en de luidheid is ook gevraagd naar de beoordeling van de ruimtelijkheid en het klankbeeld. Ook kon er tijdens de testsessies verder doorgevraagd worden op de ervaring van de akoestiek. Het aantal panelen, de nagalmtijd en de luidheid ten opzichte van alles absorberende wanden voor de drie varianten is als volgt. Variant "droog" (10,5 panelen, 0,2 seconde, +0,9 dB), variant "middel" (7,5 panelen, 0,3 seconde, +2,1 dB) en variant "galm" (4,5 panelen, 0,4 seconde, +3,5 dB).



Zowel studenten van de klassieke- als de jazzafdeling hebben aan de testen deelgenomen. Bij een aantal klassieke instrument is ook naar een nog meer galmende variant gekeken. Van sommige instrumenten hebben meerdere studenten geparticipeerd: trompet (3), trombone, saxofoon (2), hoorn, blokfluit, dwarsfluit, hobo, klarinet, altviool, piano, contrabas, zang (2), drums (3), basgitaar (2), elektrische gitaar.

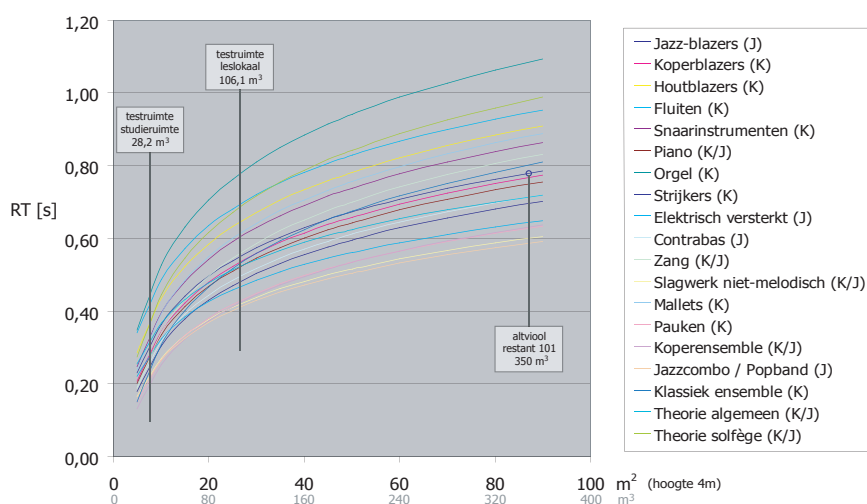
### 3.3. De resultaten

#### 3.3.1. Instrumentgroepen in het leslokaal

Op de vierde, vijfde, zesde en zevende verdieping van de nieuwbouw zijn de leslokalen gesitueerd. Het vloeroppervlak varieert van ongeveer 20 m<sup>2</sup> tot 80 m<sup>2</sup>. De meeste lokalen zijn ongeveer 40 m<sup>2</sup>. De verdiepingshoogte is ongeveer 4 m, met uitzondering van de vierde verdieping. Op deze theorieverdieping is de hoogte van de lokalen 3,56 m.

In eerste instantie zijn de gewenste akoestische milieus van verschillende instrumentgroepen van zowel het leslokaal als de studieruimte in grafiek uitgezet. Daarbij is de gewenste nagalmtijd op de verticale as uitgezet bij de verschillende volumes van het leslokaal en de studieruimte. Vanwege de logaritmische aard van de nagalmtijd is er voor de verschillende instrumentgroepen een logaritmische curve door de twee punten getrokken. Met deze curve kan voor tussenliggende volumes afgeleid worden wat de gewenste nagalmtijd is. Uit de nagalmtijd kan vervolgens berekend worden hoeveel absorptie benodigd is. Omdat het voor het testen niet mogelijk was een groter lokaal te bouwen, zijn de leslokalen van de nieuwbouw van vergelijkbare grootte, of groter dan de testruimte. Om voor de grotere lokalen ook zeker te zijn van de juiste hoeveelheid absorptie is als referentie de ervaring van een gewenste hoeveelheid galm in een grotere ruimte gebruikt. Daaruit bleek dat de curven niet zomaar geëxtrapoleerd mogen worden. De luidheid speelt in de testruimte van de studieruimte een belangrijkere rol, omdat de geluidsenergie zich slechts over een kleiner volume kan verdelen. Omwille van een niet te luide akoestiek in een kleine ruimte wordt relatief meer absorptie gevraagd en zal de gewenste nagalmtijd daardoor korter worden. Dat de luidheid bij de grotere volumes minder sterk van invloed is dient meegenomen te worden bij het modelleren van de curven. In onderstaande grafiek zijn de curven aangepast op basis van het referentiepunt in een groter volume. Deze curven voor de verschillende instrumentengroepen geven zo een goede indicatie voor de benodigde hoeveelheid absorberend materiaal voor de leslokalen van de nieuwbouw met een vloeroppervlak van tussen de 20 m<sup>2</sup> en 80 m<sup>2</sup>.





### 3.3.2. Drie akoestieken voor de studieruimten

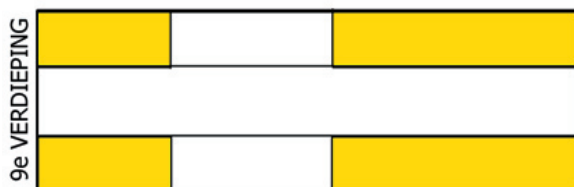
Op de achtste en negende verdieping van de nieuwbouw worden de studieruimtes gehuisvest. Deze zijn bedoeld om individueel in te repeteren en hebben een vloeroppervlak van ruim 10 m<sup>2</sup>. De ruimtes zijn 2,73 m hoog. Door dit kleinere volume bleek bij het testen dat de luidheid een sterkere rol speelt voor het bepalen van het gewenste aantal panelen.

Waar in het ontwerp de leslokalen per instrumentgroep gelabeld zijn, wordt dit onderscheid bij de studieruimtes niet gemaakt. Dit is met het oog op de flexibiliteit en de bezettingsgraad dan ook niet verstandig. Echter, de testen met de studenten van verschillende instrumentgroepen wezen uit dat niet één gewenste akoestiek uitkomst kan bieden. De ene student vindt het geen probleem om in een confronterende droge akoestiek te oefenen, terwijl de ander liever iets meer terug krijgt van de ruimte waarin gespeeld wordt. De luidere instrumenten hebben een voorkeur voor de drogere variant en de zachtere klassieke instrumenten voor de galmende variant. Het is niet mogelijk met één configuratie iedereen tevreden te stellen. Daarom wordt voorgesteld de akoestiek te variëren door drie verschillende typen ruimtes te creëren. Studenten kunnen zich dan intekenen op hun voorkeursvariant. Verstandig is om deze indeling te koppelen aan de plattegronden om het overzicht te vergroten. Op het bijgeleverde advies is gekozen om de achtste verdieping in de lengte door te snijden. Aan de westkant zijn 13 “droge” studieruimtes gesitueerd en aan de oostkant zijn 13 “galmende” studieruimtes gesitueerd. De gehele negende verdieping krijgt studieruimtes uit de categorie “middel”. Dit zijn er 20 in totaal. Van deze 46 studieruimtes hebben er 4 een groter oppervlak (ongeveer 18-20 m<sup>2</sup>). Dit zijn de ruimtes die bij de liften geplaatst zijn. Naar idee van Lucas Vis zijn deze op de achtste verdieping wat extremer droog en galmend gekozen. Het

conservatorium kan haar studenten zo de mogelijkheid bieden eens in een extremere akoestiek te spelen.

Er wordt geadviseerd in de gaten te houden hoe de voorkeuren van studenten voor de verschillende varianten zijn om na een half jaar eventueel aanpassingen te maken in de verdeling van de drie varianten. Deze zijn nu als volgt ingedeeld:

- verdieping 8 west ("droog") 9 panelen: koperblazers, elektrisch versterkt, slagwerk (13 ruimtes);
- verdieping 9 ("middel") 7 panelen: zang, strijkers, piano (20 ruimtes);
- verdieping 8 oost ("galm") 5 panelen: houtblazers, fluit, snaarinstrumenten (13 ruimtes).



- 13x "galm"
- 20x "middel"
- 13x "droog"



## 4. OVERIGE ASPECTEN

### 4.1. Het variëren van de akoestiek

Docenten en studenten is bij het testen gevraagd naar hun mening over de mogelijkheid tot het variëren van de akoestiek. Als een ruimte gebruikt wordt voor één functie of sterk overeenkomende functies kan gesteld worden dat er een voorkeur is voor een goede basisakoestiek. Pas als twee instrumenten met verschillende akoestische eisen gebruik gaan maken van dezelfde ruimte wordt het interessant een variabel akoestisch element als bijvoorbeeld een gordijn toe te passen. Ook als in eenzelfde ruimte zowel aan ensembles als aan studenten apart lesgegeven wordt, komt variabele akoestiek in aanmerking. Echter zijn dergelijke gevallen ook met roostering op te vangen. Voor de studieruimtes geldt hetzelfde. Als studenten niet tevreden zijn over de akoestiek in een studieruimte, dan kunnen ze uitwijken naar een studieruimte met een andere akoestiek. Als er toch behoefte is aan variabele akoestiek in één of meerdere lokalen dan wordt geadviseerd een akoestisch zwaar gordijn toe te passen voor de glasgevel. Dit is een gebruiksvriendelijke manier van variabele akoestiek. De werking van het gordijn is hier het meest effectief, aangezien er geen panelen aan de glaswand zijn bevestigd. Ook kan de akoestische functie hier gecombineerd worden met een visuele. Een aantal docenten gaf aan de inblik vanaf de gang naar de lokalen onprettig te vinden.

Wat betreft het aanpassen van de akoestiek van een lokaal wordt aangeraden dit aan de semesterplanning te koppelen. In de gesprekken met de docenten over de huidige lokalen kwam naar voren dat veel lokalen te sterk galmen. Bijna niemand is echter naar de afdeling facilitair gestapt met de vraag om meer absorptiemateriaal. Vraag docenten daarom na een half jaar actief of ze tevreden zijn over de configuratie van panelen in de ruimte. Uit het testen bleek dat één of twee panelen meer of minder wel degelijk uitmaakt op het ervaren van de akoestiek. Als docenten echter al binnen een paar weken om meer of minder panelen vragen, wordt afgeraden gelijk panelen te gaan verhangen. Een nieuw gebouw moet de tijd gegeven worden om aan te wennen.

### 4.2. Functionele aspecten

Buiten de akoestische aspecten kwamen er bij het testen en in de gesprekken ook een aantal functionele punten en meningen naar voren, die voor de nieuwbouw van belang zijn.

Veel docenten moeten wennen aan het idee dat er visueel contact is tussen de gang en de lokalen. Vooral bij het doen van ademhalingsoefeningen waarbij op de grond gelegen wordt, stelt men dit visuele contact niet op prijs. Daarentegen ambiëren andere of soms zelfs dezelfde docenten de mogelijkheid om naar buiten te kunnen kijken. Mocht er voor een oplossing gekozen worden waarbij het visuele contact met de buitenwereld door de

gebruiker aangepast kan worden, dan biedt dit eventueel perspectieven om te combineren met variabele akoestiek.

Akoestisch wordt de harde vloer, uitgezonderd van de afdeling slagwerk, gewaardeerd. Functioneel zitten hier nog wel wat haken en ogen aan. Zo zouden een aantal docenten voor grond oefeningen graag beschikken over een matje als buffer naar de koude harde vloer. Een harde vloer betekent ook een gladde vloer en dit levert problemen op voor docenten en studenten met een contrabas. Het wegglijden kan verholpen worden door speciale houten latten met gaten die aan de stoel of kruk vastgezet kunnen worden. Echter zijn deze latten nogal jat-gevoelig en wordt er aangeraden om gebruik te maken van rubberen matten, zoals deze ook in de Bachzaal gebruikt worden. Dezelfde rubberen matten kunnen ook gebruikt worden om voor bespelers van pauken te zorgen dat hun kruk niet wegglijdt.

Bij het samenspelen van een instrument met vleugel nemen de instrumentalisten aan de kant plaats waar de ronding in de vleugel zit. Als de vleugel met de toetsen aan de glasgevelzijde wordt geplaatst, heeft het daarom de voorkeur dat de deur aan de rechterkant van het lokaal is geplaatst. Dit gaat op de meeste verdiepingen goed, uitgezonderd van de zevende verdieping. Aangezien het paukenlokaal geheel volstaat met pauken, hebben deze docenten een voorkeur voor de deur in de hoek van het lokaal. Bij het gebruik van een geluidsinstallatie in lokalen wordt geprefereerd dat de boxen opgehangen zijn in plaats van geplaatst op kasten.

#### 4.3. De verdeling, de opbouw en het gebruik van de panelen

Voor het verdelen van de panelen over de wanden en plafond van de ruimtes wordt aangeraden de panelen zo goed mogelijk te verspreiden. Dit zorgt voor het egalste klankbeeld, de beste verdeling van het geluid over de ruimte, de beste absorptiewaarden en het minste last van harde reflecties en resonantiepatronen.

De uitgetekende panelen uit het bestek zijn vervaardigd voor het testen in de twee testruimtes. Het gewicht van de panelen is 30,3 kg. Dat maakte deze panelen redelijk onhandelbaar met het testen. Zeker voor bevestiging op het plafond leverde dit veel problemen op. Het gewicht wordt voornamelijk veroorzaakt door het houten frame en de MDF achterplaat. Hier zou gekozen kunnen worden voor lichtere materialen. Arbe-technisch is het in ieder geval verstandig het gewicht tot onder de 25 kg te brengen. Een andere oplossing is om de grootte van de panelen aan te passen. De halve panelen die voor het testen zijn vervaardigd wegen 17,7 kg. Deze waren in de omgang een stuk handelbaarder. Ook zou een tussenmaat van 0,9 x 1,2 m of 0,9 x 1,5 m gebruikt kunnen worden. Wat betreft de compositie van de panelen werd de combinatie van "grote" en "kleine" panelen door de gebruikers gewaardeerd. Akoestisch waren er geen verschillen tussen de grote en kleine panelen te ontdekken.

Het ophangstelsel uit het bestek, dat ook met het testen is gebruikt, werkt, maar is niet ideaal. Als er minder panelen verhangen worden, zal dit echter ook minder problemen opleveren. Tijdens het testen zijn de achterplaten van vooral de grote panelen verboden. Daardoor is bijna geen enkel groot paneel meer op vier haken te bevestigen. Bij toepassing van dit systeem in de nieuwbouw moet rekening gehouden worden met het feit dat de panelen door de gebruikers uit de haken geschoven kunnen worden. Omdat het niet verstandig is dat de docenten en studenten zelf panelen gaan verhangen, wordt aangeraden een systeem op de panelen te bevestigen om dit te voorkomen. Dit systeem kan er dan ook voor zorgen dat de plafondpanelen niet uit de haken kunnen schuiven en naar beneden komen. Bij het testen werd zowel gebruik gemaakt van horizontale als verticale bevestiging van de panelen op de wanden. Hierbij had in het gebruik de verticale bevestiging de voorkeur. Door de architecten werd als alternatief ophangstelsel het aanbrengen van meerdere rails over de wanden genoemd. Deze rails zou dan ook als muziekstandaard kunnen fungeren. Mits de panelen nog voldoende verspreid kunnen worden is dit een goede oplossing. Docenten en studenten zullen deze rails echter niet gebruiken om muziek op te zetten, omdat men de voorkeur heeft niet zo dicht op de wand het instrument te bespelen.

Tenslotte is er nog het punt robuustheid. Zeker bij de panelen in de studieruimtes moet rekening gehouden worden met vandalisme. Bijvoorbeeld het schrijven op de panelen of het doorprikken van de panelen met drumstokken. Ook kan de stof vies worden of verkleuren na verloop van tijd. Wellicht is het mogelijk de stof makkelijk verwisselbaar te maken, zodat deze gewassen of vervangen kan worden. De bevestiging met nietjes, zoals op de testpanelen, lijkt hiervoor niet ideaal. Tevens is het esthetischer om de stof op de achterkant van het paneel vast te zetten in plaats van op de zijkant.

Mocht er na een half jaar besloten worden een aanpassing te maken op een configuratie van de panelen in een lokaal, dan wordt aangeraden dit op de wanden op te vangen. De panelen op het plafond zijn namelijk moeilijker te verhangen.

## 5. HET AANTAL PANELEN

Het doel van het testen met de docenten en studenten van het Conservatorium van Amsterdam was het bepalen van de gewenste akoestiek voor de verschillende leslokalen en studieruimtes van het nieuwe gebouw. Deze gewenste akoestische milieus kunnen vervolgens vertaald worden naar een aantal panelen, dat voor de nieuwbouw benodigd is. In bijlage I wordt het advies per ruimte uiteengezet.

In dit onderzoek zijn naast objectieve en subjectieve testen in de twee testruimtes ook metingen verricht in huidige lokalen van het conservatorium en zijn docenten en studenten gevraagd naar hun ervaring met de huidige lokalen. Er blijkt veel verschil te zitten in de akoestische kwaliteit van de lokalen. Over het algemeen vindt men veel lokalen aan de galmende kant. De akoestiek van de huidige lokalen als uitgangspunt nemen is daarom niet verstandig.

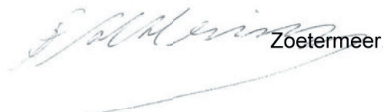
Kijkend naar leslokalen en studieruimtes van de nieuwbouw vallen er in ruimteakoestische zin twee zaken op. Ten eerste zal de vloer niet bedekt worden met vloerbedekking, zoals aan de Van Baerlestraat, maar met een gegoten kunststof laag van 2 mm. Vloerreflecties zijn erg belangrijk voor veel instrumenten en waar deze in de oude situatie gelijk dood vallen op de vloerbedekking, zorgen die in de nieuwbouw voor een heldere klank. Ondanks een aantal functionele aspecten zoals het wegglijden van instrumenten, waren de docenten en studenten in het algemeen erg positief over de harde vloer.

Ten tweede is de lokaalhoogte in de nieuwbouw geen 4,5 m, zoals de meeste lokalen in het huidige gebouw, maar op de meeste lesverdiepingen ruim een halve meter minder. Omdat de geluidsenergie minder ruimte heeft om zich over te verspreiden zal er relatief meer energie geabsorbeerd dienen te worden.

Beide verschillen tussen nieuw- en oudbouw en het feit dat de meeste huidige lokalen een tekort aan absorptie hebben, zal resulteren in een hoger percentage absorptie op de wanden en het plafond in vergelijking met het huidige gebouw. In de testruimtes werd voor verschillende situaties en disciplines onderzocht hoeveel absorptie op de wanden en plafond benodigd is voor een comfortabele akoestiek.



Naast het onderzoek naar de gewenste akoestische voorzieningen per ruimte, is gemeten wat de absorberende werking van de panelen en andere absorberende elementen is. In metingen bleken de gebruikte breedbandabsorptiepanelen veel effectiever te zijn dan in eerste instantie is aangenomen. Als alle gegevens uit het onderzoek worden meegenomen, kan geconcludeerd worden dat er met minder panelen volstaan kan worden. Mits de panelen goed over de ruimte verspreid worden, kan er bijna de helft op de panelen bezuinigd worden. Er wordt geadviseerd om in verband met de gewenste aanpasbare akoestiek 50 panelen te veel te maken, om voldoende lokalen aan te kunnen passen, mocht dit na een half jaar nodig blijken. Aangeraden wordt hier actief naar te vragen bij de docenten en de studenten.

  
Zoetermeer,

Dit rapport bestaat uit:  
20 pagina's.

Bijlage I bevat 4 pagina's

Bijlage I: Conservatorium van Amsterdam; overzicht absorptiepanelen leslokalen

Ruimtenr.	Benaming	Vloeroopp. m2	Hoogte	Instr. groep	Gewenste RT	100% effectieve absorptie			bijzonderheden
						Absorptie nodig m2	Aantal panelen 1,8 x 0,9 m	Aantal panelen 1,8 x 0,9 m 70% aan wand	
-2	Plattegrond laag -2								
12 05	ensemble zaal	Zie tekeningen							
4	Plattegrond laag 4								
04 07	leslokaal basgitaar	25,2	3,56	el. versterkt	0,44	24,0	15	11	4
04 08	leslokaal	37,4	3,56	theorie algm.	0,56	26,1	16	11	5
04 09	leslokaal	34,5	3,56	theorie algm.	0,55	24,9	15	11	4
04 10	leslokaal	38,6	3,56	theorie algm.	0,56	26,7	16	11	5
04 11	leslokaal	42,0	3,56	theorie algm.	0,58	28,1	17	12	5
04 13	leslokaal	28,5	3,56	theorie algm.	0,52	22,1	14	10	4
04 14	leslokaal bijvak piano	20,1	3,56	piano	0,45	18,7	12	8	4
04 16	leslokaal theorie groot	62,1	3,56	theorie algm.	0,64	36,0	22,21	15	7
04 18	leslokaal gitaar ***jazz***	22,0	3,56	el. versterkt	0,42	22,2	14	10	4
04 19	leslokaal theorie	38,6	3,56	theorie algm.	0,56	26,7	16,45	11	5
04 20	leslokaal	42,0	3,56	theorie algm.	0,58	28,1	17	12	5
04 22	leslokaal theorie	38,6	3,56	theorie algm.	0,56	26,7	16,45	11	5
04 25	leslokaal basgitaar	19,3	3,56	el. versterkt	0,40	20,6	12,73	9	4
04 26	leslokaal opera	34,6	3,56	zang	0,59	22,1	13,64	10	4
04 27	leslokaal harp	37,4	3,56	snaarinstrm.	0,65	20,6	12,75	9	4
04 28	leslokaal	42,0	3,56	theorie algm.	0,58	28,1	17,34	12	5
04 29	leslokaal	38,6	3,56	theorie algm.	0,56	26,7	16	11	5
04 30	leslokaal	28,9	3,56	theorie algm.	0,52	22,3	13,79	10	4
04 31	leslokaal ond. Stage	20,1	3,56	theorie algm.	0,46	18,0	11,14	8	3
04 33	leslokaal gitaar ***klassiek***	21,2	3,56	snaarinstrm.	0,53	15,5	10	7	3
04 34	leslokaal	42,0	3,56	theorie algm.	0,58	28,1	17,34	12	5
04 35	leslokaal	38,6	3,56	theorie algm.	0,56	26,7	16,45	11	5
04 36	leslokaal	38,6	3,56	theorie algm.	0,56	26,7	16,45	11	5
04 37	leslokaal	42,0	3,56	theorie algm.	0,58	28,1	17,34	12	5
5	Plattegrond laag 5								
05 07	leslokaal contrabas jazz	26,3	3,93	contrabas	0,49	25,1	15,47	11	4
05 08	leslokaal gitaar ***jazz***	20,0	3,93	el. versterkt	0,42	22,9	14,13	10	4
05 09	leslokaal gastlessen	59,3	3,93	piano	0,67	37,0	22,81	16	7
05 10	leslokaal live electronica	32,4	3,93	el. versterkt	0,49	30,7	18,96	13	6
05 11	leslokaal elect. Muziek	41,3	3,93	el. versterkt	0,53	35,8	22,13	15	7
05 13	leslokaal blazers jazz	23,2	3,93	jazz-blazers	0,45	24,4	15,08	11	4
05 14	leslokaal blazers jazz	22,2	3,93	jazz-blazers	0,45	23,9	14,74	11	4
05 15	leslokaal gastlessen	54,4	3,93	piano	0,66	35,1	21,67	15	7
05 17	leslokaal blazers jazz	22,0	3,93	jazz-blazers	0,44	23,8	14,67	11	4
05 18	leslokaal blazers "klassiek: hout"	25,1	3,93	houtblazers	0,63	16,7	10,32	7	3
05 19	leslokaal blazers "klassiek: hout"	24,1	3,93	houtblazers	0,62	16,4	10,09	7	3
05 20	leslokaal blazers "klassiek: hout"	24,1	3,93	houtblazers	0,62	16,4	10,09	7	3
05 21	leslokaal blazers "klassiek: hout"	25,1	3,93	houtblazers	0,63	16,7	10,32	7	3
05 24	leslokaal orgel	22,4	3,93	orgel	0,73	11,7	7,22	5	2
05 25	leslokaal orgel	22,3	3,93	orgel	0,73	11,7	7,20	5	2
05 26	leslokaal orgel	22,3	3,93	orgel	0,73	11,7	7,20	5	2



Bijlage I. Conservatorium van Amsterdam, overzicht absorptiepanelen leslokalen

Ruimte nr.	Benaming	Vloeroopp. m2	Hoogte	Instr. groep	Gewenste RT	100% effectieve absorptie				bijzonderheden		
						Absorptie nodig m2	Aantal panelen 1,8 x 0,9 m	Aantal panelen 1,8 x 0,9 m	70% aan wand		70% panelen aan wand	30% panelen aan plafond
05 27	leslokaal orgel	22,4	3,93	orgel	0,73	11,7	7,22	7	5	5	2	
05 30	leslokaal correpitie	20,0	3,93	piano	0,46	20,2	12,48	12	8	8	4	
05 31	leslokaal bewegingsruimte	60,2	3,93	theorie algm.	0,65	39,5	24,35	24	17	17	7	
05 32	leslokaal bijvak piano	20,0	3,93	piano	0,46	20,2	12,48	12	8	8	4	
05 33	leslokaal muz. tech.	44,6	3,93	theorie algm.	0,60	32,4	20,01	20	14	14	6	
05 34	leslokaal gem. oefenuimte	35,2	3,93	theorie algm.	0,57	27,9	17,20	17	12	12	5	
05 35	leslokaal blazers "klassiek: koper"	23,2	3,93	koperblazers	0,50	13,03	13	9	9	9	4	
05 36	leslokaal strijkers	21,9	3,93	strijkers	0,51	19,5	12,06	12	8	8	4	
05 38	leslokaal blazers jazz	21,2	3,93	jazz-blazers	0,44	23,3	14,40	14	10	10	4	
05 39	leslokaal blazers "klassiek: koper"	25,5	3,93	koperblazers	0,52	13,69	14	10	10	10	4	
05 40	leslokaal blazers "klassiek: koper"	25,0	3,93	koperblazers	0,52	21,9	13,55	14	10	10	4	
05 41	leslokaal blazers "klassiek: fluit"	25,0	3,93	fluiten	0,68	14,8	9,15	9	6	6	3	
05 42	leslokaal blazers "klassiek: fluit"	25,5	3,93	fluiten	0,68	15,0	9,25	9	6	6	3	
<b>6</b>	<b>Plattegrond laag 6</b>											
06 07	leslokaal slagwerk "niet melodisch"	23,9	3,95	slg niet melodisch	0,40	29,8	18,38	18	13	13	5	+ vloerbedekking
06 08	leslokaal drums	38,7	3,95	slg niet melodisch	0,47	39,3	24,26	24	17	17	7	+ vloerbedekking
06 09	leslokaal ensemble "klassiek"	35,4	3,95	klassiek ensemble	0,59	26,2	16,19	16	11	11	5	
06 10	leslokaal ensemble "jazz/pop"	64,9	3,95	jazzcombo/pop	0,54	55,6	34,34	34	24	24	10	+ vloerbedekking
06 11	leslokaal slagwerk, gamelan	89,1	3,95	mallets	0,88	36,3	22,38	22	15	15	7	
06 14	leslokaal slagwerk "niet melodisch"	20,8	3,95	slg niet melodisch	0,38	27,6	17,06	17	12	12	5	+ vloerbedekking
06 15	leslokaal piano jazz	35,3	3,95	piano	0,57	17	16,94	17	12	12	5	
06 16	leslokaal slagwerk "niet melodisch"	38,6	3,95	slg niet melodisch	0,47	39,2	24,22	24	17	17	7	+ vloerbedekking
06 17	leslokaal ensemble "klassiek"	38,6	3,95	klassiek ensemble	0,61	27,4	16,89	17	12	12	5	
06 18	leslokaal ensemble "klassiek"	35,3	3,95	klassiek ensemble	0,59	26,2	16,16	16	11	11	5	
06 21	leslokaal slagwerk "mallets"	18,0	3,95	mallets	0,52	15,4	9,52	10	7	7	3	
06 22	leslokaal drums	35,4	3,95	slg niet melodisch	0,46	37,3	23,00	23	16	16	7	+ vloerbedekking
06 23	leslokaal ensemble "koper"	38,7	3,95	koperensemble	0,49	38,0	23,44	23	16	16	7	
06 24	leslokaal slagwerk "pauken"	38,7	3,95	pauken	0,49	37,5	23,17	23	16	16	7	
06 25	leslokaal slagwerk "mallets"	35,4	3,95	mallets	0,68	21,6	13,35	13	9	9	4	
06 26	leslokaal ensemble "jazz/pop"	66,5	3,95	jazzcombo/pop	0,55	56,5	34,88	35	25	25	10	+ vloerbedekking
06 28	leslokaal ensemble "klassiek"	20,0	3,95	klassiek ensemble	0,46	20,4	12,58	13	9	9	4	
06 29	leslokaal slagwerk "mallets"	38,5	3,95	mallets	0,70	22,6	13,97	14	10	10	4	
06 30	leslokaal piano jazz	35,3	3,95	piano	0,57	17	16,94	17	12	12	5	
06 31	leslokaal ensemble "jazz/pop"	35,3	3,95	jazzcombo/pop	0,45	38,1	23,52	24	17	17	7	+ vloerbedekking
06 32	leslokaal ensemble "jazz/pop"	38,7	3,95	jazzcombo/pop	0,46	40,3	24,86	25	18	18	7	+ vloerbedekking
<b>7</b>	<b>Plattegrond laag 7</b>											
07 07	leslokaal klav. hist.	26,0	4,03	snaarinstrm.	0,60	19,3	11,90	12	8	8	4	
07 08	leslokaal piano	37,0	4,03	piano	0,59	41,5	25,59	26	18	18	8	
07 09	leslokaal hafa directie	43,8	4,03	koperensemble	0,51	41,5	25,59	26	18	18	8	
07 10	leslokaal bijvak piano	20,0	4,03	piano	0,47	20,6	12,73	13	9	9	4	
07 11	leslokaal clavecimbel hist.	54,4	4,03	snaarinstrm.	0,76	29,2	18,03	18	13	13	5	
07 13	leslokaal strijkers	22,9	4,03	strijkers	0,52	20,5	12,53	13	9	9	4	
07 14	leslokaal schoolmuziek	20,6	4,03	piano	0,48	20,9	12,82	13	9	9	4	
07 16	leslokaal strijkers	30,6	4,03	strijkers	0,68	24,0	14,93	15	11	11	4	
07 18	leslokaal klav.	22,8	3,93	snaarinstrm.	0,57	17,6	10,85	11	8	8	3	

Bilaga I: Conservatorium van Amsterdam; overzicht absorptiepanelen leslokalen

Ruimte nr.	Benaming	Vloeroopp. m2	Hoogte	Instr. groep	Gewenste RT	100% effectieve absorptie				bijzonderheden		
						Absorptie nodig m2	Aantal panelen 1,8 x 0,9 m	Aantal panelen 1,8 x 0,9 m	70% aan wand		70% panelen aan wand	30% panelen aan plafond
07 19	leslokaal zang	32,9	3,93	zang	0,60	23,6	14,59	15	11	11	4	
07 20	leslokaal zang	39,2	3,93	zang	0,64	25,8	15,95	16	11	11	5	
07 21	leslokaal hifa directie	37,1	3,93	koperensemble	0,48	37,0	22,84	23	16	16	7	
07 22	leslokaal strijkers/contrabas	34,0	3,93	strijkers	0,60	24,9	15,38	15	11	11	4	
07 26	leslokaal schoolmuziek	20,0	4,03	piano	0,47	20,6	12,73	13	9	9	4	
07 27	leslokaal piano	43,7	4,03	piano	0,62	31,7	19,55	20	14	14	6	
07 28	leslokaal piano	37,1	4,03	piano	0,59	28,8	17,78	18	13	13	5	
07 29	leslokaal piano historisch	62,8	4,03	piano	0,69	39,3	24,27	24	17	17	7	
07 30	leslokaal zang jazz	24,7	4,03	zang	0,54	21,0	12,96	13	9	9	4	
07 31	leslokaal strijkers	22,9	4,03	strijkers	0,52	20,5	12,63	13	9	9	4	
07 32	leslokaal bijvak piano	20,6	4,03	piano	0,48	20,9	12,92	13	9	9	4	
07 33	leslokaal strijkers	30,6	4,03	strijkers	0,68	24,0	14,83	15	11	11	4	
07 35	leslokaal zang jazz	22,0	3,93	zang	0,51	19,5	12,04	12	8	8	4	
07 36	leslokaal zang	39,1	3,93	zang	0,64	25,8	15,93	16	11	11	5	
07 37	leslokaal zang	32,8	3,93	zang	0,60	23,6	14,57	15	11	11	4	
07 38	leslokaal schoolmuziek	83,2	3,93	piano	0,74	45,4	28,01	28	20	20	8	
<b>8</b>	<b>Plattegrond laag 8</b>											
08 08	studieruimte groot "droog"	17,4	2,74	studie droog			14,00	14	10	10	4	
08 09	studieruimte "droog"	10,4	2,74	studie droog			9,00	9	6	6	3	
08 10	studieruimte "droog"	9,9	2,74	studie droog			9,00	9	6	6	3	
08 11	studieruimte "droog"	10,3	2,74	studie droog			9,00	9	6	6	3	
08 12	studieruimte "droog"	10,3	2,74	studie droog			9,00	9	6	6	3	
08 13	studieruimte "droog"	9,9	2,74	studie droog			9,00	9	6	6	3	
08 14	studieruimte "droog"	10,4	2,74	studie droog			9,00	9	6	6	3	
08 16	studieruimte "droog"	10,3	2,74	studie droog			9,00	9	6	6	3	
08 17	studieruimte "droog"	9,9	2,74	studie droog			9,00	9	6	6	3	
08 18	studieruimte "droog"	10,4	2,74	studie droog			9,00	9	6	6	3	
08 21	leslokaal correpitie	22,9	2,74	piano	0,42	16,1	9,91	10	7	7	3	
08 22	leslokaal collegezaal	104,8	5,92	theorie algm.	0,81	91,6	56,52	57	40	40	17	vooral ook op achterwand
08 23	studieruimte "droog"	10,6	2,74	studie droog			9,00	9	6	6	3	
08 24	studieruimte "droog"	10,6	2,74	studie droog			9,00	9	6	6	3	
08 25	studieruimte "droog"	10,6	2,74	studie droog			9,00	9	6	6	3	
08 37	studieruimte groot "galm"	20,0	2,74	studie galm			5,00	5	4	4	1	
08 38	studieruimte "galm"	10,4	2,74	studie galm			5,00	5	4	4	1	
08 39	studieruimte "galm"	9,9	2,74	studie galm			5,00	5	4	4	1	
08 40	studieruimte "galm"	10,4	2,74	studie galm			5,00	5	4	4	1	
08 41	studieruimte "galm"	10,4	2,74	studie galm			5,00	5	4	4	1	
08 42	studieruimte "galm"	9,9	2,74	studie galm			5,00	5	4	4	1	
08 43	studieruimte "galm"	10,4	2,74	studie galm			5,00	5	4	4	1	
08 45	studieruimte "galm"	10,4	2,74	studie galm			5,00	5	4	4	1	
08 46	studieruimte "galm"	9,9	2,74	studie galm			5,00	5	4	4	1	
08 47	studieruimte "galm"	10,3	2,74	studie galm			5,00	5	4	4	1	
08 49	leslokaal correpitie	22,0	2,74	piano	0,41	15,8	9,76	10	7	7	3	
08 50	leslokaal orgel ***of kerkgel?	50,3	5,92	orgel	1,04	29,8	18,41	18	13	13	5	
08 51	studieruimte "galm"	10,6	2,74	studie galm			5,00	5	4	4	1	
08 52	studieruimte "galm"	10,6	2,74	studie galm			5,00	5	4	4	1	

Bijlage I. Conservatorium van Amsterdam; overzicht absorptiepanelen lesblokken

Ruimte nr.	Benaming	Vloeroopp. m2	Hoogte	Instr. groep	Gewenste RT	100% effectieve absorptie				bijzonderheden	
						Absorptie nodig m2	Aantal panelen 1,8 x 0,9 m	Aantal panelen 1,8 x 0,9 m	70% aan wand		70% panelen aan wand
08 53	studieruimte "galm"	10,6	2,74	studie galm			5	4	4	1	
<b>9</b>	<b>Plattegrond laag 9</b>										
09 08	studieruimte groot "middel"	17,4	2,65	studie middel			10	7	7	3	
09 09	studieruimte "middel"	10,4	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 10	studieruimte "middel"	9,9	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 11	studieruimte "middel"	10,4	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 12	studieruimte "middel"	10,3	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 13	studieruimte "middel"	9,9	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 14	studieruimte "middel"	10,4	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 18	leslokaal correpitite	22,8	2,65	piano	0,41	15,6	10	7	7	3	
09 19	studieruimte "middel"	12,4	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 20	studieruimte "middel"	12,5	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 21	studieruimte "middel"	12,4	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 33	studieruimte groot "middel"	19,8	2,65	studie middel			10	7	7	3	
09 34	studieruimte "middel"	10,4	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 35	studieruimte "middel"	9,9	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 36	studieruimte "middel"	10,4	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 37	studieruimte "middel"	10,4	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 38	studieruimte "middel"	9,9	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 39	studieruimte "middel"	10,4	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 41	leslokaal correpitite	17,2	2,65	piano	0,36	14,2	9	6	6	3	
09 42	studieruimte "middel"	12,4	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 43	studieruimte "middel"	12,5	2,65	studie middel			7	5	5	2	
09 44	studieruimte "middel"	12,4	2,65	studie middel			7	5	5	2	
<b>TOTAAL</b>						<b>2799,6</b>	<b>2061,16</b>	<b>1441</b>	<b>1451</b>	<b>610</b>	