

## Best Trading

Het geluidsniveau en frequentiespectrum van een Crystal Soundboard in vergelijking met piano's met een conventionele houten zangbodem

---



## Best Trading

*Het geluidsniveau en frequentiespectrum van een  
Crystal Soundboard in vergelijking met piano's met  
een conventionele houten zangbodem*

---

**ARDEA**  
acoustics & consult  
Jupiterlaan 14  
2314 BE LEIDEN  
T 071 572 58 45  
F 071 572 58 47  
E [info@ardea.nl](mailto:info@ardea.nl)

**Oorbewust**  
Erepijnsstraat 98  
3765 AM Soest  
T 035 5880801  
E [info@oorbewust.nl](mailto:info@oorbewust.nl)

Opdrachtgever: Best Trading  
Postbus 111

Rapport: 1140ACA9.007

Auteur: H. Troost (Oorbewust)  
dr.ir. W. Soede (ARDEA)

Datum - versie: 31 Maart 2010

## INHOUDSOPGAVE

<b>1</b>	<b>INLEIDING</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>UITVOERING GELUIDSMETINGEN</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>RESULTAAT GELUIDSMETINGEN</b>	<b>7</b>
3.1	Atjoli piano met Crystal Sound board of houten zangbodem	7
3.1.1	Geluidsniveaus A0-C8 per octaaf	7
3.1.2	Spectrale analyse klank	8
3.2	Vergelijking Atjoli piano's met 12 andere piano's (huiskamer)	10
3.2.1	Vergelijking geluidsniveaus	10
3.2.2	Vergelijking frequentiespectrum	12
3.3	Vergelijking Atjoli piano's met 12 andere piano's (showroom)	13
3.3.1	Vergelijking geluidsniveaus	13
3.3.2	Vergelijking frequentiespectrum	14
<b>4</b>	<b>AUDITIEVE OBSERVATIES ATJOLI</b>	<b>16</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIE</b>	<b>17</b>
	<b>Bijlagen</b>	
	Bijlage 1 Overzicht toetsen piano met frequenties	
	Bijlage 2 Effect akoestiek van de ruimte	

## 1 INLEIDING

- Crystal Board      Het Crystal Sound Board is ontwikkeld door Kees de Baat (pianotechnieker en uitvinder van het Crystal Soundboard) en Richard van Huizen van Best Trading te Monnickendam. De wens bestond om een zangbodem voor piano's en vleugels te ontwikkelen die veel minder gevoelig is voor temperatuurwisselingen en vocht met daarbij een pianoklank die homogener is met een grote stemstabiliteit. Voor meer informatie zie [www.besttrading.nl](http://www.besttrading.nl).  
Nu het Crystal Soundboard ontwikkeld is en voldoet aan de wensen en ideeën van Kees de Baat en Richard van Huizen blijkt dat geluid zachter en rustiger klinkt dan van een houten zangbodem. Aan ARDEA Acoustics & Consult en Oorbewust is gevraagd om het geluid te meten en te beoordelen.
- Dit rapport      Dit rapport vergelijkt het geluid van een Atjoli piano met een glazen zangbodem met een gelijke Atjoli piano met houten zangbodem. Daarnaast zijn geluidsmetingen uitgevoerd bij 24 andere piano's met houten zangbodem. Het betrof 12 piano's die in gebruik zijn bij particulieren (bouwperiode 1913-2002) en 12 recent gebouwde piano's (bouwperiode 2004-2008) welke waren opgesteld in een showroom.  
De vergelijking vindt primair op objectieve wijze op basis van resultaten van objectieve geluidsmetingen. De metingen zijn op locatie verricht door Hans Troost en door Wim Soede uitgewerkt. Daarnaast bevat dit rapport ook een persoonlijk verslag van de bevindingen van Hans Troost, pianostemmer en musicus, omdat een piano een instrument is om muziek mee te maken!

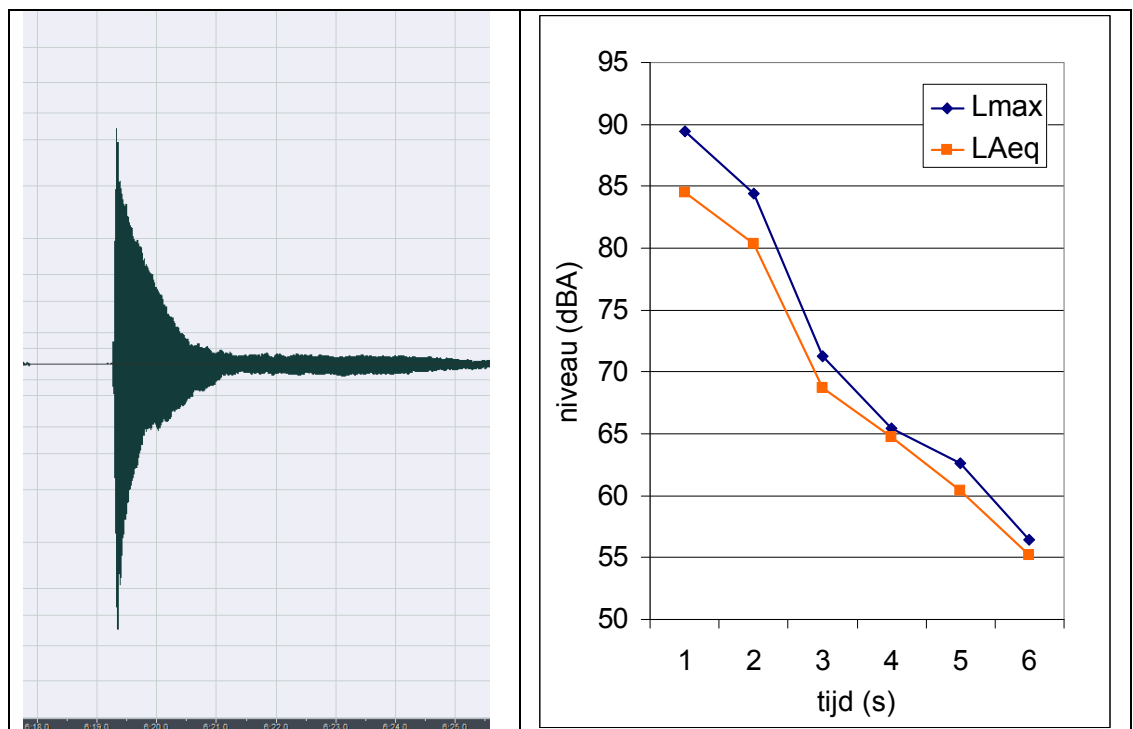
## 2 UITVOERING GELUIDSMETINGEN

Meter	Voor de geluidsmetingen is gebruik gemaakt van een geluidsmeter Rion NA-28, type 1. De geluidsmeter is gekalibreerd op 29 oktober 2008 met certificaatnummer 167799.
Meetpositie	De metingen worden primair uitgevoerd om de “lawaai-expositie” van de bespeler van een van een instrument te beoordelen. Daarom wordt gekozen om de microfoon te plaatsen ter hoogte van het oor (ca. 1.30 m hoog) van de bespeler. Bij alle metingen is de geluidsmeter op een statief geplaatst.
Huiskamer	De metingen zijn op 26 augustus 2009 verricht aan twee identieke Atjoli piano's in de een woonkamer te Maarn waarbij van één piano de zangbodem bestond uit het Crystal Sound Board. Daarnaast zijn nog aansluitend metingen uitgevoerd bij 12 piano's die in de aansluitende periode van 27 augustus 2009 tot 5 september 2009 op de agenda stonden om gestemd te worden. Het gaat om piano's van particulieren die behoren tot de clientèle van Troost Muziek. Deze piano's kunnen daarmee beschouwd worden als een willekeurige steekproef met dien verstande dat het gaat om piano's gebouwd tussen 1913 en 2002 en een gemiddelde leeftijd van ca. 50 jaar.
Showroom	Naast de metingen bij particulieren thuis zijn ook metingen uitgevoerd in een grote showroom van een pianohandel. Het gaat dan om nieuwe instrumenten die gebouwd zijn tussen 2004 en 2008 met een gemiddelde leeftijd van ca. 4 jaar.
Akoestiek	Alle metingen zijn uitgevoerd met de microfoon op de plaats van de speler. De afstand tot het instrument is relatief kort. In eerste instantie zou verwacht kunnen worden dat het effect van de akoestiek van de ruimte beperkt zal zijn. Toch is dat niet het geval. Bijlage 2 gaat in op het effect van de afmetingen en de akoestiek van een ruimte. In een huiskamer wordt de toon mede gevormd door de eerste reflectie tegen achterwand en plafond. De eerste reflectie tegen wand en plafond zijn door de korte afstand zo snel dat zij bijdragen aan het piekniveau in de eerste 10-20 ms. Verder zal in een kleine huiskamer, bij spel het zogenoemde nagalmniveau relatief hoger zijn. In een showroom duurt het langer voordat het geluid tegen plafond en wand weerkaatst en zal de bijdrage van de vroege reflecties en nagalm lager zijn.
Atjoli	Om de beide Atjoli's (glas/hout) onderling te vergelijken zijn alle tonen met de hand aangeslagen zonder gebruik van het voetpedaal. Daarnaast is op beide piano's een kort stukje gespeeld, ook weer zonder gebruik van het voetpedaal.
A1-A6	Voor alle 26 piano's (Atjoli's en 24 overige) is een meting verricht met een valgewicht voor de noten A1, A2, A3, A4 <sup>1</sup> , A5 en A6 (respectievelijk A1, A, a, a', a'', a''', zie Bijlage 1) en daarnaast weer een stukje pianospel zonder pedaal. De metingen zijn allemaal opgenomen en opgeslagen in een WAV-file voor nadere analyse.

<sup>1</sup> A4 is gelijk aan a' is gelijk aan 440 Hz.

Analyse

Alle geluidsopnames zijn na afloop geanalyseerd met hulp van de geluidmeter. Daarbij is voor elk deel van de opname één seconde<sup>2</sup> geanalyseerd. Figuur 1 geeft een voorbeeld van het oorspronkelijke tijdsignaal en daarnaast de sterkte van het signaal per s. Voor elke stukje van één seconde is het gemiddelde niveau en het piekniveaus bepaald met de frequentieweging op de stand “A” en de tijdweging voor de maximale niveaus op 10 ms.



Figuur 1 Voorbeeld analyse oorspronkelijke toetsaanslag naar geluidsniveau per s (Lmax en LAeq).

<sup>2</sup> Een beoordeling per seconde wordt gezien als een goede maat voor toetsaanslagen bij rustig pianospel met de metronoom op stand M.M. is 60.

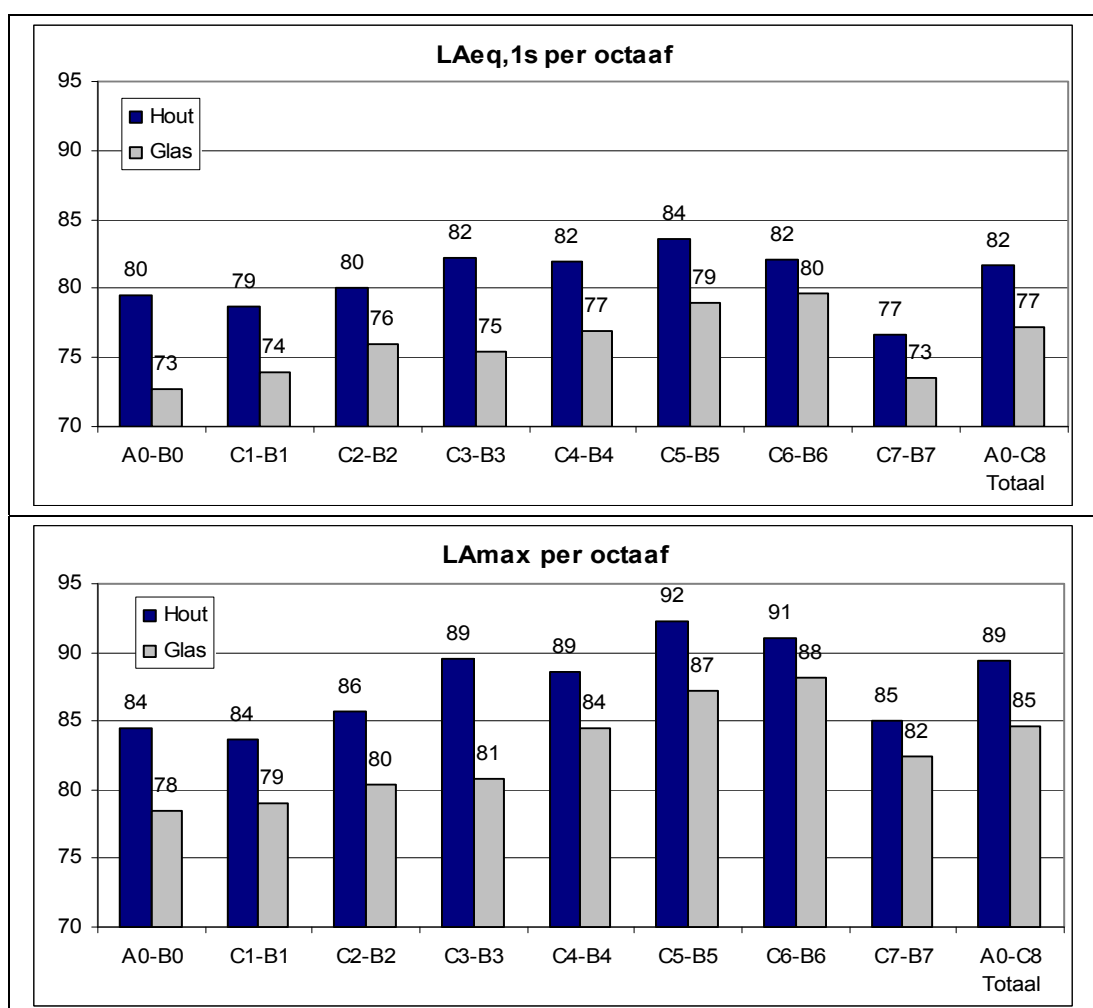
### 3 RESULTAAT GELUIDSMETINGEN

#### 3.1 Atjoli piano met Crystal Sound board of houten zangbodem

De metingen zijn uitgevoerd aan twee Atjoli piano, beide van het type A1. Het enige verschil is een Crystal Sound board of een houten zangbodem.

##### 3.1.1 Geluidsniveaus A0-C8 per octaaf

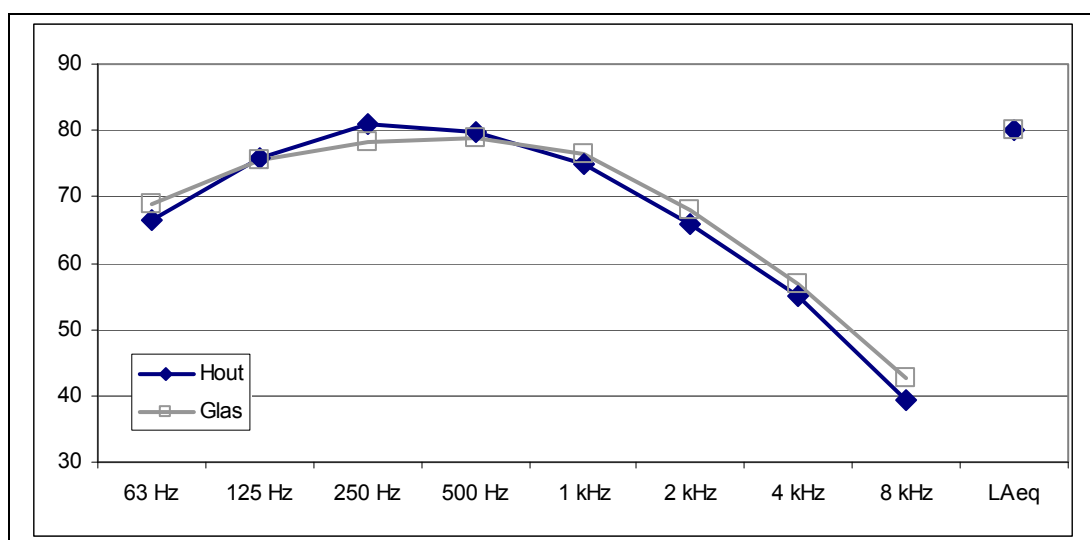
Voor beide piano's zijn metingen gedaan door elke toets van A0 tot B7 apart aan te slaan. Figuur 2 geeft een samenvattend overzicht van het gemiddelde en piekgeluidsniveaus voor de verschillende octaven (incl. A0-B0). Daarnaast is ook de totaalwaarde gegeven over het gehele bereik van de piano van A0 tot B7. Deze totaalwaarde is de gemiddelde waarde van alle 88 toetsaanslagen.



Figuur 2 Samenvattend overzicht analyse geluidsniveaus per octaaf.

### 3.1.2 Spectrale analyse klank

Voor het Crystal sound board wordt door verschillende waarnemers subjectief aangegeven dat deze een hogere helderheid heeft en rijker is aan boventonen (zie ook hoofdstuk 4). Gezien deze subjectieve waarneming zijn de metingen ook spectraal geanalyseerd om te beoordelen of de subjectieve ervaring ook zichtbaar is in de metingen. Voor de octaven C2-C6 is daarom een frequentieanalyse uitgevoerd. Om een goede vergelijking te kunnen maken zijn de waarden voor beide zangbodems vervolgens genormeerd naar een waarde van 80 dB(A). Figuur 3 geeft het resultaat van de analyse voor alle toetsen C2-C6. Uit deze figuur zou geconcludeerd kunnen worden dat er een klein verschil is. Het verschil is 2.2 dB en, gezien de spreiding in de meetresultaten, niet significant.



Figuur 3 Frequentieverdeling 48 toetsaanslagen C2-C6 genormeerd naar 80 dB(A) op basis van meetwaarden over 1 s.

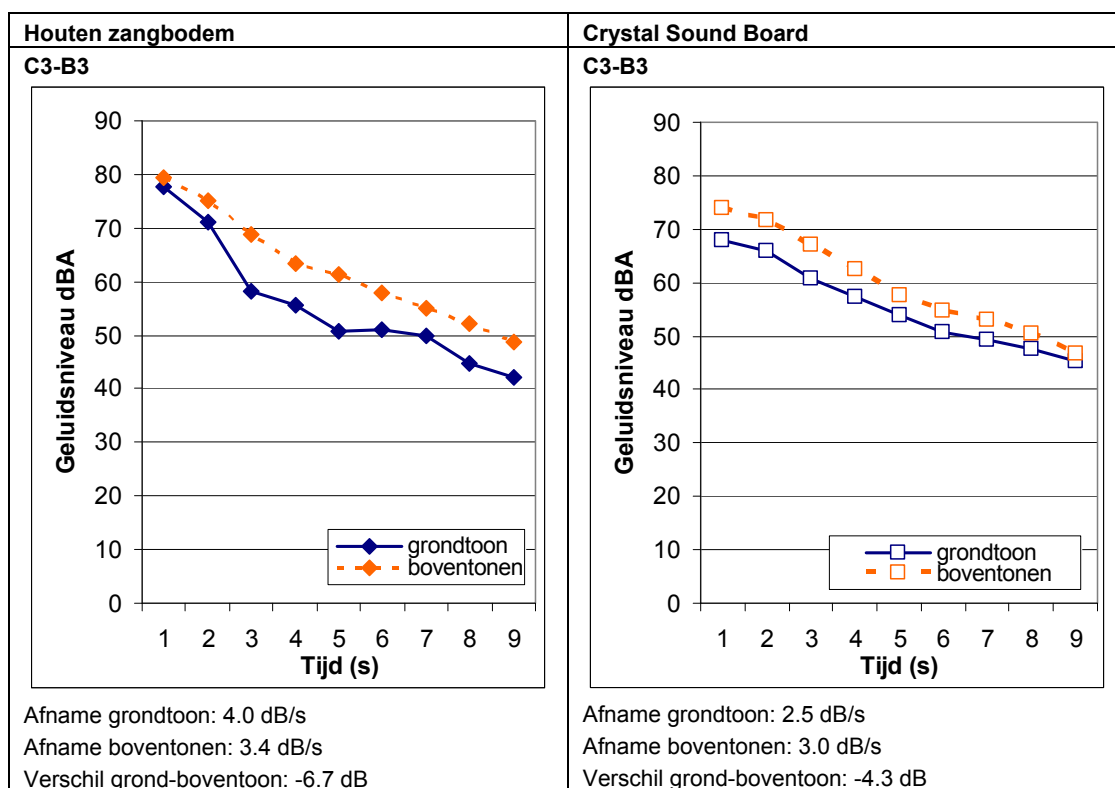
De voorgaande spectrale analyse is gebaseerd op de meetwaarden binnen 1 s na de aanslag van de toets en is het gemiddelde over zowel grondtonen als boventonen van de toetsaanslagen.

Om na te gaan of er mogelijk verschillen zijn tussen grondtonen en boventonen en of de onderlinge sterkte van grondtoon en boventoon in de loop van de uitklijntijd varieert is een nadere analyse gemaakt voor twee groepen van tonen van C3-B3 en C5-B5. Figuur 4 en Figuur 5 geven de resultaten van de analyse. De getrokken lijn betreft de sterkte van de grondtoon.

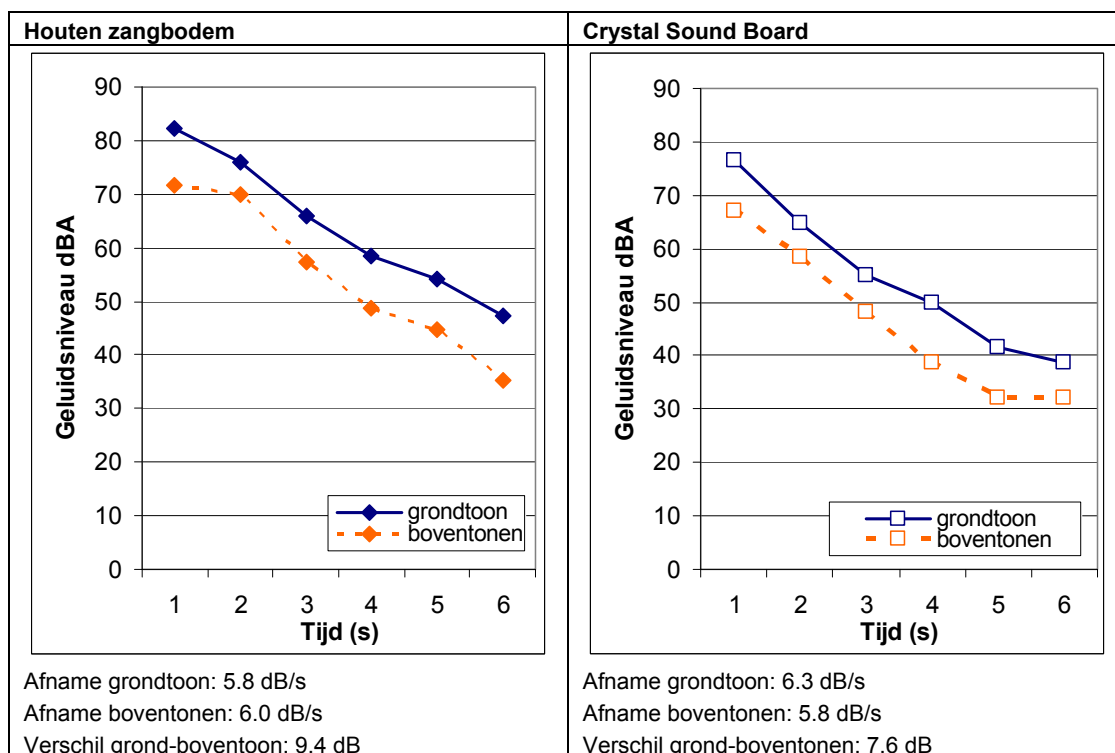
C3-B3

Uit Figuur 4 blijkt dat voor beide zangbodems de energie voor de boventonen van C3-B3 sterker is dan de grondtoon. Het verschil tussen de grondtoon en de boventonen is voor de houten zangbodem 6.7 dB en voor de glazen zangbodem 4.3 dB. Daarmee lijkt het alsof de houten zangbodem meer boventonen heeft dan de glazen zangbodem. Wanneer echter na 2-3 seconden wordt gekeken dan kantelt de situatie. Voor de houten zangbodem neemt de grondtoon sneller af (4 dB/s). Het relatieve verschil tussen grondtoon en boventonen wordt dan relatief groter. De absolute sterkte van het geluid neemt echter ook sneller af.





**Figuur 4** Geluidsniveaus als functie van de tijd voor de grondtoon en boventonenreeks voor houten zangbodem (links) en glazen zangbodem (rechts). Gemiddelde van 7 tonen: C3-B3.



**Figuur 5** Geluidsniveaus als functie van de tijd voor de grondtoon en boventonenreeks voor houten zangbodem (links) en glazen zangbodem (rechts). Gemiddelde van 7 tonen: C5-B5.

Voor de glazen zangbodem is het verschil tussen grond- en boventonen bij aanvang kleiner maar blijft meer constant waarbij de afname van grondtoon en boventonen langzamer verloopt (2.5-3 dB/s). Dit resulteert erin dat vanaf 2 s de grond- en boventonen van de glazen zangbodem qua sterkte gelijk zijn.

C5-B5

Voor de tonenreeks C5-B5 is de verhouding tussen boventonen en grondtonen omgekeerd. Uit Figuur 5 blijkt dat voor beide zangbodems de energie voor de boventonen van C5-B5 kleiner is dan de grondtoon. Het verschil tussen de grondtoon en de boventonen is voor de houten zangbodem 9.4 dB en voor de glazen zangbodem 8.3 dB. De glazen zangbodem is daarmee, relatief gezien, iets rijker aan boventonen maar het verschil is gelijk aan 0.9 dB en daarmee niet significant. De afname van het geluid is voor beide zangbodems gelijk aan ongeveer 6 dB/s.

Op basis van deze analyse kan geconcludeerd worden dat het Crystal Sound Board, in vergelijking met de houten zangbodem, voor de lagere tonen C3-B3 een langere uitklinktijd heeft waardoor vanaf 2 s na de aanslag het geluid qua sterkte gelijk wordt aan de houten zangbodem met relatief meer energie in de boventonen. Bij de hogere tonen C5-B5 zijn de verschillen klein.

### 3.2 Vergelijking Atjoli piano's met 12 andere piano's (huiskamer)

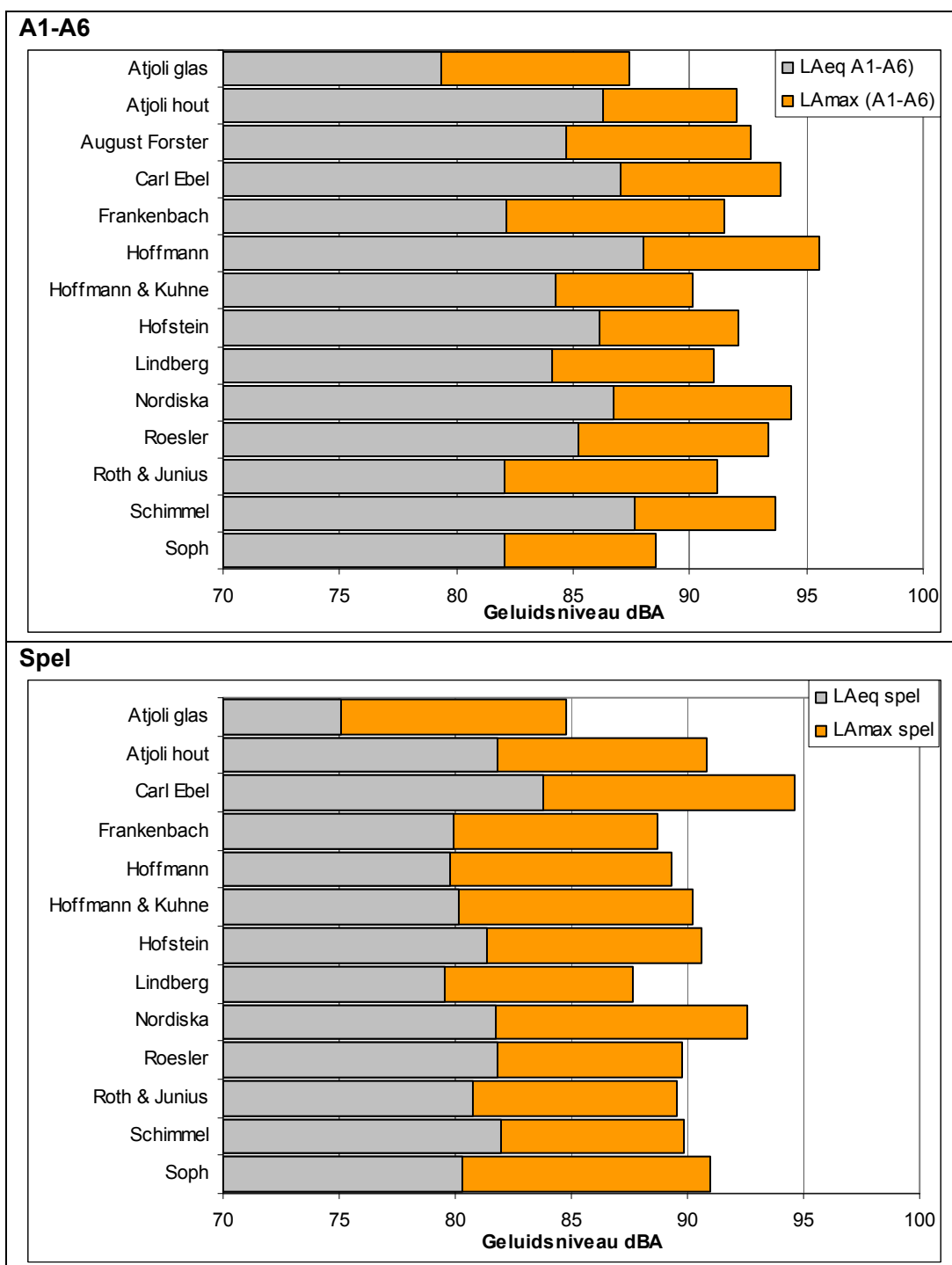
#### 3.2.1 Vergelijking geluidsniveaus

Toets A1-A6

In het kader van dit onderzoek zijn bij alle piano's voor de toetsen A1-A6 aanslagen gemeten met een vaste opstelling waarbij een gewicht van een vaste hoogte boven de toets werd losgelaten. Het geluid van het neerkomen van het gewichtje is meer dan 15 dB zachter dan het piekgeluid van de aanslag van de snaar en draagt daarmee niet relevant bij.

Figuur 6 geeft een samenvattend overzicht van de geluidsniveaus direct na de toetsaanslag (gemiddelde over 1 s en piekniveau in die 1<sup>e</sup> seconde). Uit dit overzicht blijkt dat, met uitzondering van de Atjoli met glazen zangbodem, het gemiddeld niveau van alle piano's hoger is dan 80 dB(A). Het gemiddeld niveau van de Atjoli glas komt uit op 79 dB(A). De Frankbach, Roth & Junius en de Soph zijn 3 dB(A) luider met een gemiddeld niveau van 82 dB(A). De luidste piano's zijn de Carl Ebel, Hoffmann en de Schimmel met 87-88 dB(A).

Voor de piekniveaus geven de Atjoli glas en de Soph lage piekniveaus met respectievelijk 87 en 88 dB(A). De Hoffman piano geeft de hardste pieken met een waarde van 96 dB(A).



**Figuur 6 Gemiddeld en piekgeluidsniveau van toetsaanslagen A1-A6 (boven) en spel (beneden) voor 14 piano's.**

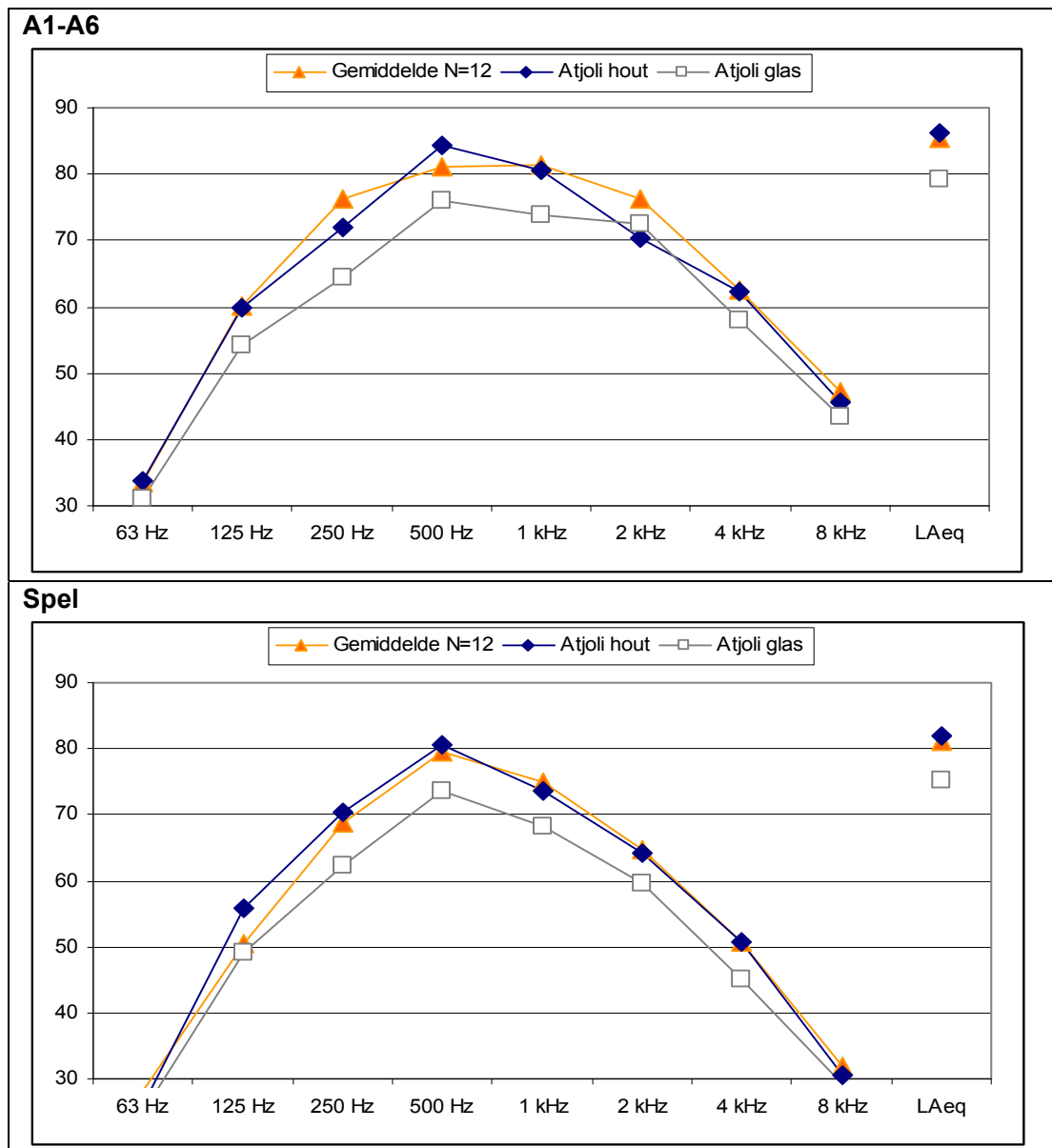
Spel

Aanvullend op de toetsaanslagen A1-A6 heeft Hans Troost op alle piano's een kort stukje eigen muziek gespeeld bestaande uit een aantal harmonieën met loopjes zonder gebruik te maken van het pedaal. Bij dit spel is geprobeerd om zoveel mogelijk uit te gaan van een spel dat overeenkomt met mezzo-forte qua aanslag.

De gemiddelde en piekgeluidsniveaus zijn samengevat in Figuur 7. Uit dat overzicht blijkt dat de Atjoli glas zowel voor de gemiddelde als de piekgeluidsniveaus ca. 5 dB(A) lager uitkomt dan de overige piano's. Dit verschil komt goed overeen met de gemeten waarden van de toetsaanslagen A1-A6.

### 3.2.2 Vergelijking frequentiespectrum

Voor dezelfde opnames zoals samengevat in paragraaf 3.2.1. is ook het beoordeeld voor de gemiddelde geluidsniveaus. Figuur 7 geeft een samenvattend overzicht van de spectra van de beide Atjoli piano's in vergelijking met het gemiddelde van de overige piano's. Uit de analyse voor A1-A6 blijkt dat de Atjoli met glazen zangbodem voor alle frequenties tot 4000 Hz zachter klinkt waarbij het verschil varieert tussen de 5 en 11 dB. Tijdens het spel is het verschil meer gelijk en bedraagt 5-6 dB over alle frequenties tussen 250 en 4000 Hz.



Figuur 7 Analyse frequentiespectrum gemiddelde niveaus A1-A6 (boven) en spel (onder).

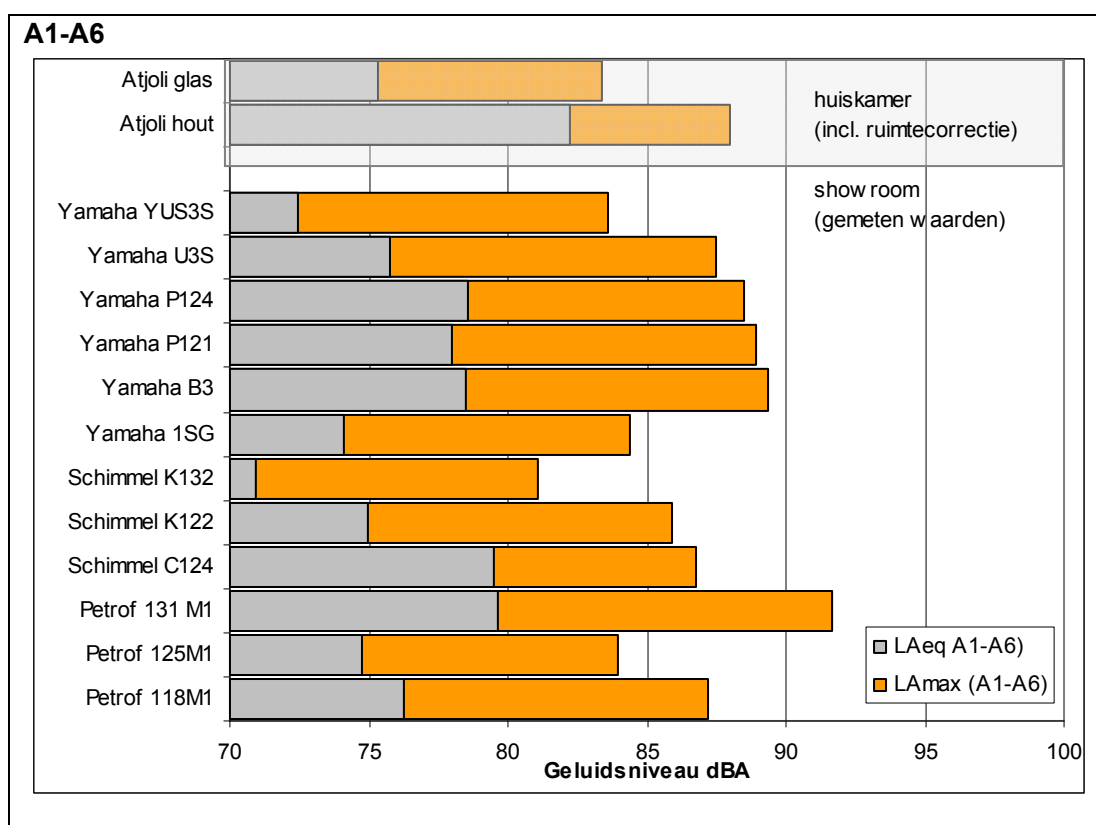
### 3.3 Vergelijking Atjoli piano's met 12 andere piano's (showroom)

#### 3.3.1 Vergelijking geluidsniveaus

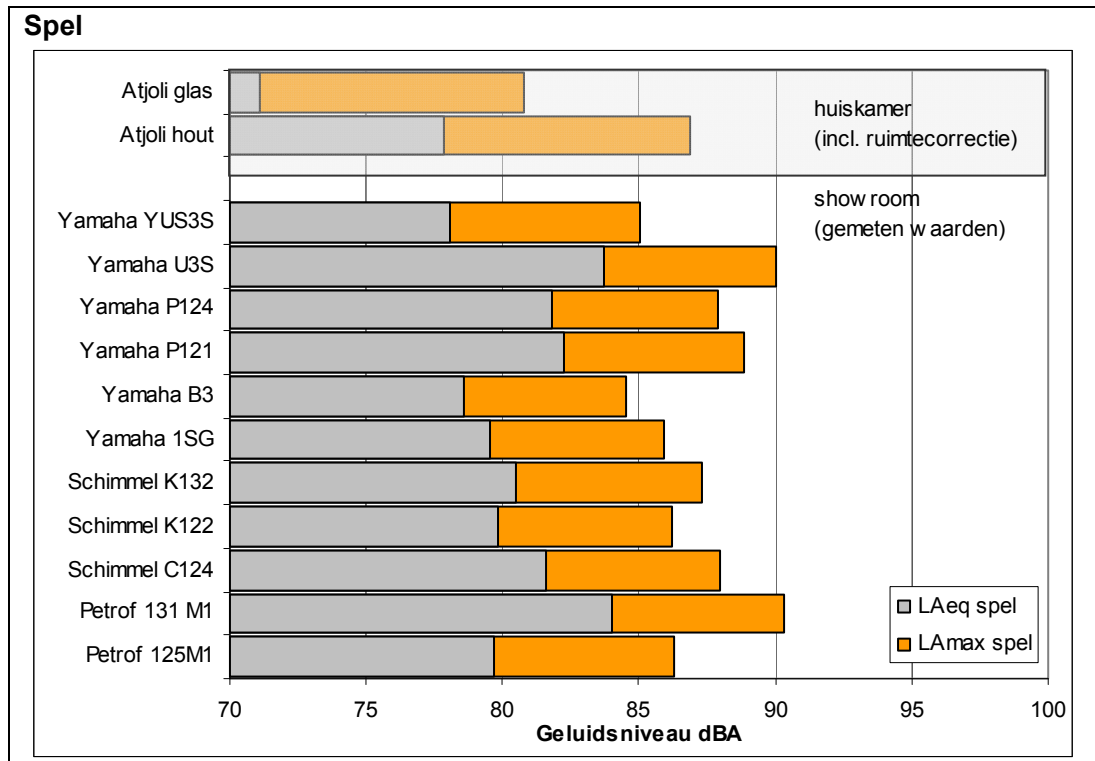
Toets A1-A6 In het kader van dit onderzoek zijn bij alle piano's in de showroom voor de toetsen A1-A6 aanslagen gemeten met een vaste opstelling waarbij een gewicht van een vaste hoogte boven de toets werd losgelaten. Het geluid van het neerkomen van het gewichtje is meer dan 15 dB zachter dan het piekgeluid van de aanslag van de snaar en draagt daarmee niet relevant bij.

Figuur 8 geeft een samenvattend overzicht van de geluidsniveaus zoals gemeten in de showroom direct na de toetsaanslag (gemiddelde over 1 s en piekniveau in die 1<sup>e</sup> seconde). Ter vergelijking zijn de metingen aan de beide Atjoli's opgenomen waarbij voor de meetwaarden van de Atjoli's gecorrigeerd zijn met 4 dB voor het verschil vanwege de akoestisch van de ruimte (zie toelichting Bijlage 2).

A1-A6 Uit dit overzicht blijkt dat de gemiddelde en piekniveaus van de Yamaha UYS3S, Yamaha 1SG, Petrof 125M1 en Schimmel K132 het laagste uitkomen. De Atjoli met glas is in dit overzicht vergelijkbaar met deze groep.



**Figuur 8** Gemiddeld en piekgeluidsniveau van toetsaanslagen A1-A6 voor 12 piano's in showroom. De meetwaarden van de Atjoli's zijn elders gemeten en gecorrigeerd voor het verschil in ruimteakoestiek tussen een woonkamer en showroom.



**Figuur 9 Gemiddeld en piekgeluidsniveau voor spel in showroom. De meetwaarden van de Atjoli's zijn elders gemeten en gecorrigeerd voor het verschil in ruimteakoestiek tussen een woonkamer en showroom.**

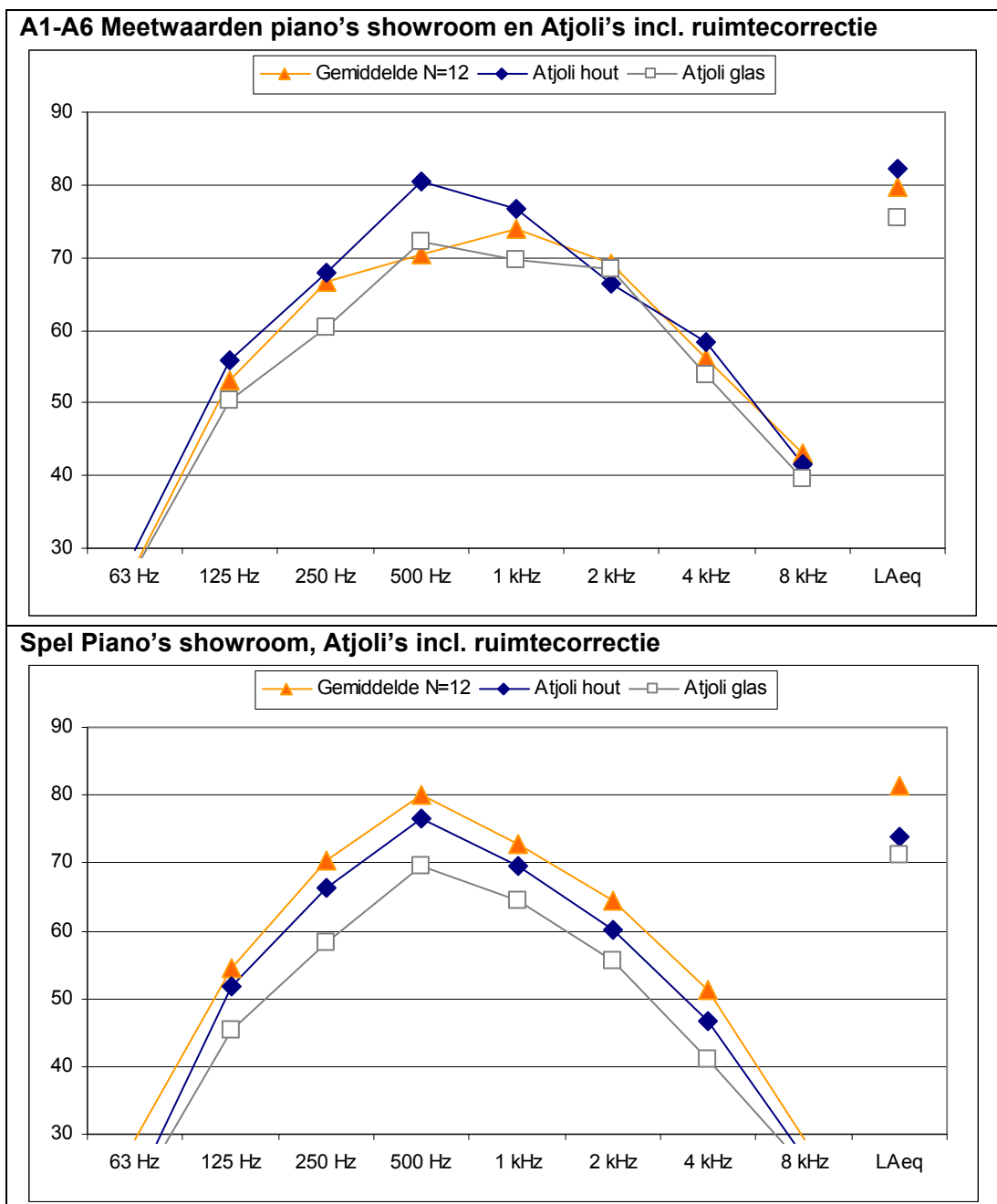
Spel

Aanvullend op de toetsaanslagen A1-A6 heeft Hans Troost op alle piano's een vast stukje eigen muziek gespeeld bestaande uit een aantal harmonieën met loopjes zonder gebruik te maken van het pedaal. Bij dit spel is geprobeerd om zoveel mogelijk uit te gaan van een spel dat overeenkomt met mezzoforte qua aanslag.

De gemiddelde en piekgeluidsniveaus zijn samengevat in Figuur 9. Uit dat overzicht blijkt dat de Atjoli glas zowel voor de gemiddelde als de piekgeluidsniveaus ca. 5 dB(A) lager uitkomt dan de overige piano's.

### 3.3.2 Vergelijking frequentiespectrum

Voor dezelfde opnames zoals samengevat in paragraaf 3.2.1. is ook het spectrum beoordeeld voor de gemiddelde geluidsniveaus. Figuur 10 geeft een samenvattend overzicht van de spectra van de beide Atjoli piano's in vergelijking met het gemiddelde van de overige piano's. Uit de analyse voor A1-A6 blijkt dat het gemiddeld niveau van de Atjoli glas iets lager is dan het gemiddelde van de andere piano's. De Atjoli hout heeft in het middengebied 500-1000 Hz een hogere waarde ten opzichte van de overige piano's. Tijdens het spel is het opvallend dat de vorm van het gemiddelde spectrum van de 12 piano's in de showroom, gelijk is aan de Atjoli's. De Atjoli met glazen zangbodem heeft de laagste geluidsniveaus voor alle frequenties.



**Figuur 10** Analyse frequentiespectrum gemiddelde niveaus A1-A6 (boven) en spel (onder).

## 4 AUDITIEVE OBSERVATIES ATJOLI

Pianostemmen	Tijdens het stemmen van de Atjoli Crystal komen alle bekende klankkenmerken <sup>3</sup> naar voren, zoals elke stemmer die kent van een piano met een houten zangbodem. Luisterend met een technisch oor zijn de aanwezigheid en intensiteit van deze klankkenmerken rustig en evenwichtig te noemen en te vergelijken met de klank van instrumenten van een bovengemiddelde kwaliteit en grootte (voor piano's vanaf 1.25 m hoog en vleugels vanaf 1.80 lengte).
Klank	Luisterend met een muzikaal oor heeft de Atjoli Crystal een open, heldere en rijke klank, met veel sustain (doorklinken). Vanuit de inharmonischeiteit lijkt de klank iets ronder, iets minder inharmonisch. Ook al is hij minder luid zal hij door de evenwichtige boventoonrijkheid in een grote ruimte ver 'dragen' in meters. In ensemble zal de Atjoli goed hoorbaar zijn. Dit in tegenstelling tot veel moderne, en met name kleinere, piano's die vaak een gecompriëerde toon kunnen hebben, die bot en penetrant in het oor springt. Hard van dichtbij en onduidelijk op afstand.
Luidheid	Helaas interpreteren we iets wat harder is meestal als 'beter'. Pianofabrikanten zijn zich hiervan bewust en gebruiken het in hun concurrentiestrijd. Hierdoor zijn nagenoeg alle moderne piano's en vleugels in de laatste honderd jaar zo luid geworden, dat een dagelijkse blootstelling van meer dan enkele uren per dag schade kan toebrengen aan het gehoor van de professionele musicus of gedreven amateur. De Atjoli Crystal is minder luid en klinkt minder penetrant. Hierdoor kan de musicus meer uren maken met veel minder kans op schade aan het gehoor. En, minder luidheid veroorzaakt ook minder stress.
Musicerend	De combinatie van minder luidheid, een grote dynamiek en een rijke heldere klank maakt de Atjoli Crystal innemend en inspirerend. Met name het bas- en tenorgebied is zeer duidelijk. Hier klinkt de piano als een vleugel, met het voordeel dat de bassen niet het midden gebied of de diskant zullen maskeren, ook niet tijdens gebruik van het rechter pedaal. De in twee delen gemaakte zangbodem draagt daar zeker aan bij. De gedefiniëerdheid van de klank komt sterk naar voren in het gemak waarmee complexe stemvoeringen in nauwe ligging kunnen worden uitgevoerd. Dit instrument heeft een brede muzikale horizon en is een inspiratiebron voor de gevorderde pianist.

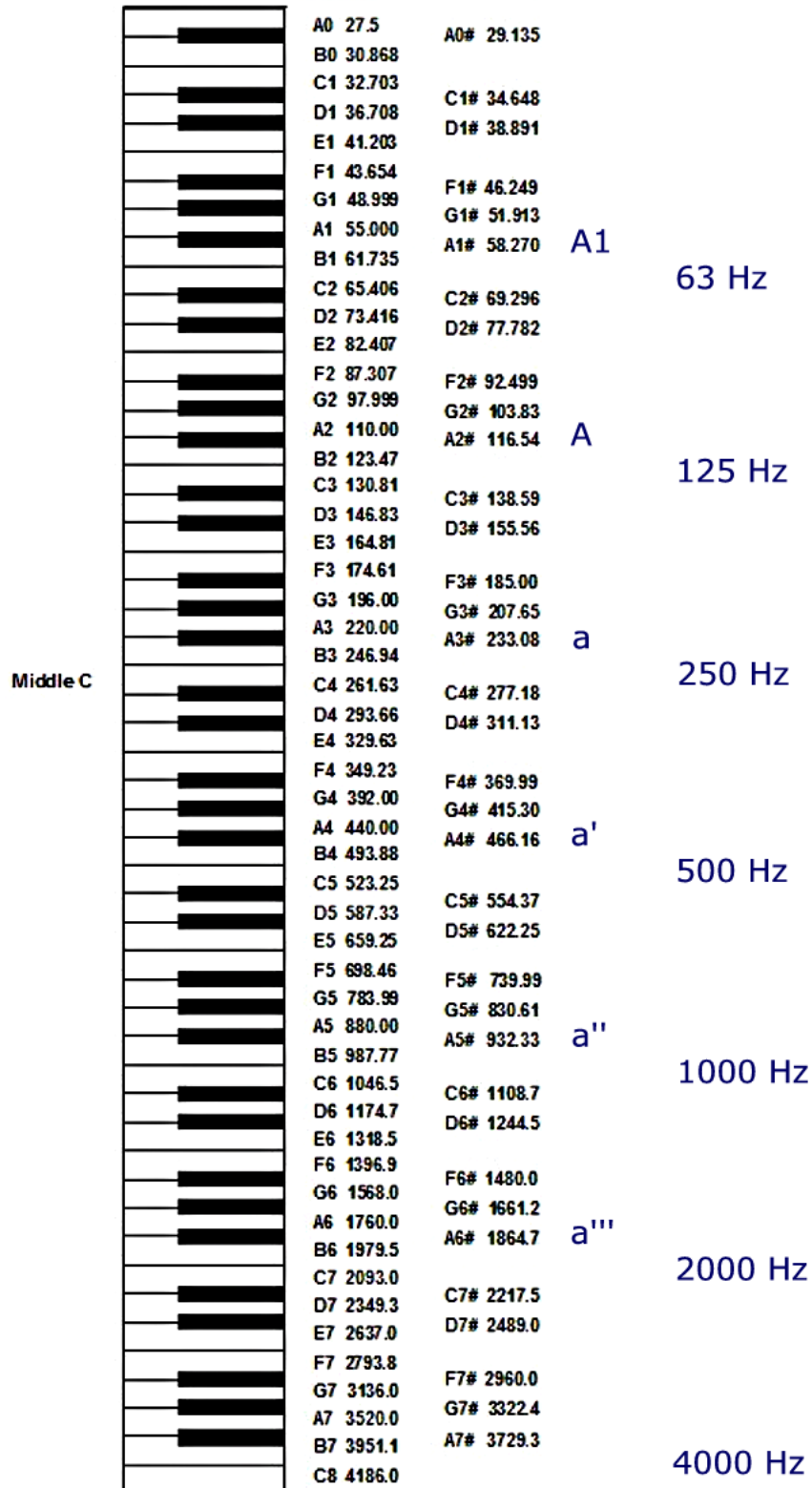
<sup>3</sup> Klankkenmerken als: inharmonischeiteit, zelfzwevers, overresonantie en variaties in klankkleur over het geheel en met name in de overgangen tussen bas, midden en diskant.



## 5 CONCLUSIE

Analyse	<p>Op basis van de analyses van de uitgevoerde geluidsmetingen en opnames blijkt:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Uit een analyse van de geluidsterkte in de 1<sup>e</sup> seconde na aanslag van alle toetsaanslagen van A0 tot C8 blijkt dat het geluidsniveau van de Atjoli met glazen zangbodem voor het totaal 5 dB lager is dan de houten zangbodem. Voor de maxima is er een verschil van 6 dB.</li><li>• Het frequentiespectrum is voor beide piano's, binnen de meetnauwkeurigheid gelijk.</li><li>• Op basis van de analyse van de toetsen C3-B3 heeft de Atjoli met glazen zangbodem een langere uitklinktijd waardoor de klank van de boventonen vanaf 2 s relatief sterker is dan van een houten zangbodem. Voor de toetsen C5-B5 is de verhouding tussen de boventonen en de grondtoon voor beide zangbodems gelijk en is ook de uitklinktijd nagenoeg gelijk aan elkaar.</li><li>• Bij vergelijking van de Atjoli piano's met 12 klassieke piano's in diverse huiskamers blijkt dat de Atjoli met glazen zangbodem gemiddeld 5 dB(A) zachter klinkt. Bij mezzo-forte spel komt het gemiddeld niveau dan uit op ca. 76 dB(A) terwijl de andere piano's, inclusief de Atjoli met houten zangbodem, uitkomen op gemiddeld 81 dB(A).</li><li>• Uit metingen aan 12 nieuwe piano's in een showroom blijkt dat de gemiddelde en piekniveaus van een Yamaha UYS3S, Yamaha 1SG, Petrof 125M1 en Schimmel K132 het laagste uitkomen. De Atjoli met glazen zangbodem is in dit overzicht vergelijkbaar met deze groep. Bij mezzoforte spel is het geluid van de Atjoli met glazen zangbodem ca. 5 dB(A) zachter.</li></ul>
Subjectief	<p>De klank van de Atjoli Crystal Piano is te vergelijken met het geluid van de betere pianos en vleugels. De open, heldere en rijke klank met extra dynamiek en sustain geeft een grotere gedefinieerde pianoklank en daarmee een extra muzikale dimensie. Het enige struikelblok is dat we gewend zijn aan een traditionele pianoklank die erg imponerend is, vooral veroorzaakt door het (te) grote geluidsvolume. Een punt waar we ons over heen moeten leren zetten om plaats te kunnen maken voor een rijkere klank en meer muzikale schoonheid.</p>
Conclusie	<p>Op basis van bovenstaande conclusies uit de analyses kan als totaal conclusie worden getrokken dat de glazen zangbodem ervoor zorgt dat het geluid tijdens pianospelen 5-6 dB(A) zachter klinkt. Dit komt het beste tot zijn recht in een relatief kleine ruimte zoals oefenstudio of woonkamer.</p> <p>Uit de objectieve spectrale analyses blijkt dat het frequentiespectrum van de Atjoli met glazen zangbodem relatief gelijk is. De subjectieve ervaring dat de klank van het instrument breder en boventoonrijker is, is waarschijnlijk toe te schrijven aan de langere uitklinktijd voor de lagere frequenties met daarbij een auditieve component dat de verlaging van het piekgeluid bij de aanslag van de toets ervoor zorgt dat dit impulsgeluid in het slakkenhuis minder maskering geeft van de boventonen.</p> <p>Op basis van deze metingen en de analyses kan het Crystal Sound Board een goede maatregel zijn in het kader van preventie en bescherming van het gehoor.</p>

## Bijlage 1 Overzicht toetsen piano met frequenties



## Bijlage 2 Effect akoestiek van de ruimte

- Buiten** Wanneer een geluidbron buiten wordt opgesteld dan kan het geluid zich naar alle kanten uitbreiden. Het geluid neemt dan kwadratisch af met de afstand. Logaritmisch is dat dan gelijk aan een afname van 6 dB per afstandsverdubbeling. Bijvoorbeeld: op 1 m afstand van een bron is het geluid 69 dB, op 2 m afstand 63 dB en op 4 m afstand 57 dB en op 8 m afstand 51 dB.
- Besloten** In een besloten ruimte zal het geluid weerkaatsen tegen wanden, plafond en vloer. Naast het directe geluid van de bron is er dan het zogenoemde nagalmveld dat bestaat uit alle reflecties. Afhankelijk van de looptijd van de reflecties wordt dat geluid dan door het oor opgeteld als behorend bij het directe geluid (integratie-effect 100-200 ms) of apart gehoord als nagalm of echo (reflectie na 100-200 ms).
- Woonkamer** In een woonkamer is de gemiddelde nagalmtijd meestal ca. 0.5 s. Dat is relatief kort. Doordat het totaal volume van de ruimte klein is kan het geluid niet weg en ontstaat door alle reflecties een relatief hoog nagalmgeluid. Dit wordt geïllustreerd in figuur A. Op een afstand van 1 m van een bron is het nagalmniveau al sterker dan het directe geluid. Het totale geluid van direct+galm komt uit op 74 dB. Dat een mens dat auditief niet direct zo ervaart is voornamelijk het gevolg van de 1<sup>e</sup> reflecties die zo snel bij het oor komen dat deze worden opgeteld bij het directe geluid.
- Showroom** Voor een grotere ruimte, zoals de showroom van de pianohandel, is het volume aanzienlijk groter (ca. 580 m<sup>3</sup> voor een ruimte van 15 x 12 x 3.2 m<sup>3</sup>). Het geluid kan zich dan meer uitbreiden over de gehele ruimte met als belangrijk effect dat het gemiddeld ca. 9 dB nagalmniveau lager is dan in de woonkamer. Het totale geluid op 1 m afstand van de bron komt dan uit ca. 70 dB. Ten opzichte van het geluid in de woonkamer is het totale niveau, bij dezelfde bronsterkte, dus 4 dB lager. Verder kan nog opgemerkt worden dat in de showroom de bijdrage van de 1<sup>e</sup> reflectie van de achterwand kleiner is omdat de piano's veelal midden in de ruimte staan opgesteld. Dit effect is op basis van berekeningen niet eenvoudig te bepalen en zal met detailmetingen op locatie voor verschillende opstellingen en piano's moeten worden bepaald. In het kader van deze metingen gaat dat nu te ver. Vooral nog is het nu berekende verschil van 4 dB op 1 m afstand een voldoende conservatief uitgangspunt.

**Figuur A. Akoestisch verschil woonkamer/showroom**

