

DRC med KRK Ergo i ett rektangulärt lyssningsrum

Högström

Axel

Examensarbete / Degree Thesis
Medieteknik / Media technology

2011

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Medieteknik
Identifikationsnummer:	2606
Författare:	Axel Högström
Arbetets namn:	DRC med KRK Ergo i ett rektangulärt lyssningsrum
Handledare (Arcada):	Johnny Biström, Claus Lindqvist
Uppdragsgivare:	Arcada / Medieteknik
<p>Sammandrag:</p> <p>Hur väl ljud återspelas i ett rum beror, förutom på ljudåtergivningsutrustningens kvalitet, till hög grad på rummets fysiska egenskaper samt placeringen av högtalarna. Den digitala signalbehandlingen utveckling har dock medfört teknologier vars mål är att motverka den förvrängande inverkan ett slutet rum har på ljud som återspelas i det. En gemensam benämning för dessa teknologier är digital rumskorrigering, eller DRC. KRK Ergo är en produkt som inkorporerar DRC i ljudåtergivningen, och detta examensarbete granskar hur bra Ergo fungerar för ändamålet. Läsaren får bekanta sig med centrala fenomen och teoretiska begrepp inom smårumsakustik, och teorierna tillämpas på lyssningsrummet där Ergo testas. Testerna utförs med två olika högtalarplaceringar och frekvenssvaren uppmäts med det elektroakustiska mätsystemet Clio. Resultaten visar att Ergo inte lyckas förbättra ljudåtergivningen i det valda lyssningsrummet. Som referenser används bl.a. <i>Audio engineer's reference book</i> av Michael Talbot-Smith och <i>The Science of Sound</i> av Rossing, Moore och Wheeler.</p>	
Nyckelord:	Akustik, audio, DRC, ljudåtergivning, KRK Ergo
Sidantal:	40
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	16.11.2011

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Media technology
Identification number:	2606
Author:	Axel Edvard Högström
Title:	DRC with KRK Ergo in a rectangular listening room
Supervisor (Arcada):	Johnny Biström, Claus Lindqvist
Commissioned by:	Arcada / Media technology
<p>Abstract:</p> <p>The way sound is reproduced in a room is not only depending on the quality of the sound system that is used, but to a high extent on the physical attributes of the room and the placement of the loudspeakers within it. The evolution of sound technology has however given us products that strive to compensate for the negative impact the room itself imposes on sound that is reproduced in it. This technology is commonly known as Digital Room Correction (DRC). KRK Ergo is a product that incorporates DRC in a sound reproduction system. This degree thesis evaluates how well Ergo manages with this task. The reader will learn about basic phenomena and concepts within small room acoustics, and the theory is later implemented on the listening room that Ergo is tested in. The tests are done with two different speaker line-ups, and the electrical and acoustical frequency responses are measured with the test system Clio. The results of this thesis shows that Ergo does not manage to improve the quality of sound reproduction in the listening room. The <i>Audio engineer's reference book</i> by Michael Talbot-Smith and <i>The Science of Sound</i> by Rossing, Moore and Wheeler are used as main references for the theory in the thesis.</p>	
Keywords:	Acoustics, audio, DRC, sound reproduction, KRK Ergo
Number of pages:	40
Language:	Swedish
Date of acceptance:	16.11.2011

INNEHÅLL

1.1	Syfte och mål.....	7
1.2	Avgränsningar	7
2	Bakgrund och teori.....	8
2.1	Bakgrund.....	8
2.2	Ljudvågornas natur	10
2.3	Direkt ljud, tidiga reflektioner och reverb.....	12
2.4	Linjär superposition.....	13
2.5	Stående vågor eller rummets resonansfrekvenser	14
2.6	Rumsnoder	15
2.7	Akustisk behandling av lyssningsrum	16
2.8	Stereofoniskt ljud och högtalarnas placering i rummet	18
2.9	Digital rumskorrigering (DRC).....	20
2.10	KRK Ergo	21
3	Mätningar och resultat	24
3.1	Mätutrustningen och utförandet av mätningarna.....	24
3.2	Lyssningsrummet och högtalarplaceringen i det.....	25
3.3	Kalibreringen av Ergos DRC för lyssningsrummet.....	28
3.4	Elektriska mätningar 1	29
3.5	Akustiska mätningar 1	32
3.6	Elektriska mätningar 2	33
3.7	Akustiska mätningar 2	35
4	Diskussion och slutsatser	36
5	Källförteckning	39
6	Bilagor	40
	Bilaga 1. Behringer ECM8000 specifikationer	40
	Bilaga 2. Alesis M1 Active MK2 specifikationer.....	41
	Dimensions (H x W x D): 15" (38.1 cm) x 8.5" (21.6 cm) x 10" (25.3 cm).....	41
	Bilaga 3. Tapco SW-10 specifikationer	42
	Bilaga 4. Tidiga reflektioner i lyssningsrummet	43

Figurer

<i>Figur 1. En vågrörelses våglängd och amplitud</i>	11
<i>Figur 2. Direkt ljud, tidiga reflektioner och reverb</i>	12
<i>Figur 3. Konstruktiv och destruktiv interferens</i>	13
<i>Figur 4. De tre olika typerna av stående vågor i ett rektangulärt rum</i>	14
<i>Figur 5. Noder och antinoder som följd av linjär superposition</i>	16
<i>Figur 6. Åskådliggörande av skillnaderna mellan absorption, reflektion och diffusion</i>	17
<i>Figur 7. Stereofonisk ljudåtergivning</i>	18
<i>Figur 8. Ljudintensiteten där riktningskoefficient $Q=1$, $Q=2$ och $Q=4$.</i>	19
<i>Figur 9. KRK Ergo med tillhörande mätmikrofon</i>	21
<i>Figur 10. Ergos interna signalkedja</i>	23
<i>Figur 11. Signalkedjan för de elektriska mätningarna</i>	24
<i>Figur 12. Signalkedjan för de akustiska mätningarna</i>	25
<i>Figur 13. Lyssningsrummets bottenplan och högtalarplaceringen. Skala 1:25.</i>	27
<i>Figur 14. Skiss över mikrofonplaceringarna i lyssningsrummet för kalibreringen av Ergo</i>	28
<i>Figur 15. Vänster kanals utsignal i den elektriska domänen (subwoofern i hörnet).</i>	29
<i>Figur 16. Subwooferkanalens utsignal i den elektriska domänen (subwoofern i hörnet).</i>	30
<i>Figur 17. Impulssvaret för vänster kanals utsignal i focus –mod.</i>	31
<i>Figur 18. Vänster kanals utsignal i den akustiska domänen (subwoofern i hörnet).</i>	32
<i>Figur 19. Vänster kanals utsignal i den elektriska domänen (subwoofern i mitten).</i>	33
<i>Figur 20. Subwooferkanalens utsignal i den elektriska domänen (subwoofern i mitten).</i>	34
<i>Figur 21. Vänster kanals utsignal i den akustiska domänen (subwoofern i mitten).</i>	35

Tabeller

<i>Tabell 1. De stående vågornas frekvenser i lyssningsrummet</i>	26
---	----

1. INLEDNING

1.1 Syfte och mål

Syftet med detta examensarbete är att göra läsaren förtrogen med hur ljud påverkas av rummet det återspeglas i, samt att mäta KRK Ergos (hädanefter Ergo) inverkan på ljudåtergivningen i ett rektangulärt lyssningsrum. Läsaren kommer att bekanta sig med centrala begrepp inom smårumsakustik och digital rumskorrigerig (DRC). Läsaren antas känna till grundläggande principer inom akustik, ljudåtergivning och -teknologi.

Målet är att presentera de centrala begreppen inom smårumsakustik och teoretiskt bestämma de akustiska egenskaperna för ljudåtergivningen i ett faktiskt rum. Vidare utförs kvalitativa mätningar för att styrka teorin, och sist granskas forskningsföremålets (Ergos) inverkan på ljudåtergivningen i rummet.

1.2 Avgränsningar

Akustik som vetenskapsgren är mycket komplex, och omfattar bland annat fysik, arkitektur, biologi och t.o.m. psykologi. På grund av vetenskapsgrenens komplexitet måste strikta avgränsningar göras i detta examensarbete. I kapitel 2 *Bakgrund och teori* redogörs endast för de akustiska fenomen som DRC i teorin kan påverka. Således behandlas efterklangstiden (RT60) och till den härrörande fenomen inte. Ljudisolering och kontroll av bakgrundsljud behandlas inte heller i det här examensarbetet.

Vid uppmätning och granskning av Ergos inverkan på ljudåtergivningen beaktas endast frekvenssvaret i registret 20-500 Hz för en 1.1-ljudåtergivning, där Ergo används i ”subwoofer mode”. För att minska på antalet mätningar väljs enbart vänster kanal och subwoofern som målet för granskningen. 20-500 Hz är det register Ergo verkar inom och försöker förbättra, därav denna avgränsning. Mätmikrofonens frekvenssvar mäts inte; den information som tillverkaren tillhandahåller anses vara tillräckligt pålitlig.

Det här examensarbetet behandlar inte högtalarteknologi, mätteknik eller signalbehandlingen i signalkedjan före högtalaren. Fokus ligger alltså på det som händer med de fysiska ljudvågorna i ett slutet rum: hur ljudet rör sig och påverkas av rummet.

2 BAKGRUND OCH TEORI

2.1 Bakgrund

Ett rum kan betraktas som ett slutet tredimensionellt system. Då en ljudvåg rör sig genom rummet och når ett hinder, till exempel en vägg, ett tak eller ett golv kommer vågens energi att

- absorberas av hindret, alltså omvandlas till värme
- reflekteras av hindret, alltså fortsätta i ändrad riktning
- penetrera hindret, alltså fortsätta sin färd på andra sidan av hindret.

Oftast sker samtliga ovannämnda scenarier samtidigt men i olika grad och detta är beroende av ljudvågens frekvens, amplitud och riktning samt hindrets fysiska egenskaper (byggnadsmaterial, massa etc.). Det ljud som reflekteras från ytorna i ett rum färgar ljudåtergivningen i rummet. Hur ljud återges i ett lyssningsrum är därför alltid beroende av rummets egenskaper. (Rossing et al. 2002 s.526)

I ett lyssningsrum – ett rum där ljud återges av en eller flera högtalare – strävar man oftast efter en neutral och realistisk ljudåtergivning vars frekvenssvar är jämnt över människans hela auditiva spektrum. Om ljudåtergivningen inte är neutral, kommer filmen eller musikstycket inte att låta så som upphovsmännen ämnade det att låta.

För ett kontrollrum i en studio, där filmer eller låtar mixas, är det ett måste att ha en neutral ljudåtergivning, så att det ljud som högtalarna spelar upp och det ljud som når teknikerns öron är det samma. Professionella lyssningsrum konstrueras så att ljudåtergivningen i rummet blir så jämn som möjligt. (Rossing et al. 2002 s.585)

Kraven för god ljudåtergivning är:

1. Frekvensomfånget för det reproducerade ljudet bör vara tillräckligt för att bibehålla alla hörbara komponenter i det ursprungliga ljudet, och ljudspektrumet av det reproducerade ljudet bör vara identiskt med dess källa.
2. Det reproducerade ljudet bör vara fritt från distorsion och brus.
3. Det reproducerade ljudet bör ha samma styrka och dynamiska omfång som det ursprungliga ljudet.

4. Den spatiala karaktären av det ursprungliga ljudet bör reproduceras.
5. Efterklangen för det ursprungliga ljudet bör reproduceras.

(Rossing et al. 2002 s.573f)

Vissa av ovannämnda krav är långt beroende av högtalarnas kvalitet och signalkedjan före högtalarna, men speciellt punkterna 1, 4 och 5 påverkas i hög grad av vad som händer med ljudet efter att högtalarna har spelat upp det. Vad denna påverkan beror på och hur ljudet rör sig efter att högtalarna har återspelat det redogörs i detta arbete.

Sedan datoriseringen av studiotekniken har allt fler människor fått tillgång till de verktyg som förr endast fanns till förfogande i dyra ljudstudior och allt fler skivor bandas nu in och mixas i helt vanliga hem. Men bostadshus ritas och byggs utgående från andra kriterier än jämn ljudåtergivning, och därför är ofta just ljudåtergivningen hemmastudions största svaghet. Många tillverkare av ljudutrustning har på sistone lanserat produkter som adresserar detta problem. Idén är oftast att påverka ljudmaterialet i den digitala domänen på ett sådant sätt att rummets akustiska egenskaper elimineras innan det spelas upp. Gemensamt för dessa teknologier är alltså att man kalibrerar ljudåtergivningsutrustningen för just det rum man befinner sig i. Sedan manipuleras ljudmaterialet innan det spelas upp så att det ändå kan återges neutralt, därmed motverkande rummets negativa inverkan på återgivningen. Digital manipulation av ljudmaterial i syfte att motverka lyssningsrummets påverkan på det återgivna ljudet kallas digital rumskorrigerig eller DRC (efter engelskans Digital Room Correction). DRC har först på senare år blivit tillgänglig för en bredare publik – i samband med datorernas utveckling – och kan än så länge betraktas som kuriosa. De fenomen som påverkar ljudåtergivningen i ett rum, så som reflektioner, stående vågor, noder och fassläckning beror på fysikaliska lagbundenheter, och därför råder det också en allmän skepticism om huruvida akustiska problem kan korrigeras i den digitala domänen. (Gerzon 1991 s.1ff)

Högtalartillverkaren KRK:s produkt Ergo är en i raden av ovannämnda produkter, och den presenteras mera ingående i kapitel 2.10. I kapitel 3 utförs kvalitativa mätningar av Ergos inverkan på ljudåtergivningen och förmåga att förbättra den i ett rektangulärt rum. I detta kapitel redogörs vissa grundprinciper bakom de fenomen som påverkar ljudåtergivningen i slutna rum och vilka förutsättningar Ergo har att påverka den.

2.2 Ljudvågornas natur

Ljud är en longitudinell vågrörelse i ett medium, till exempel luft eller vatten. Vågrörelsen propagerar genom tryckförändringar i mediet, och den har en frekvens, amplitud, riktning och hastighet. Ljudets hastighet i luft kan beräknas med följande formel:

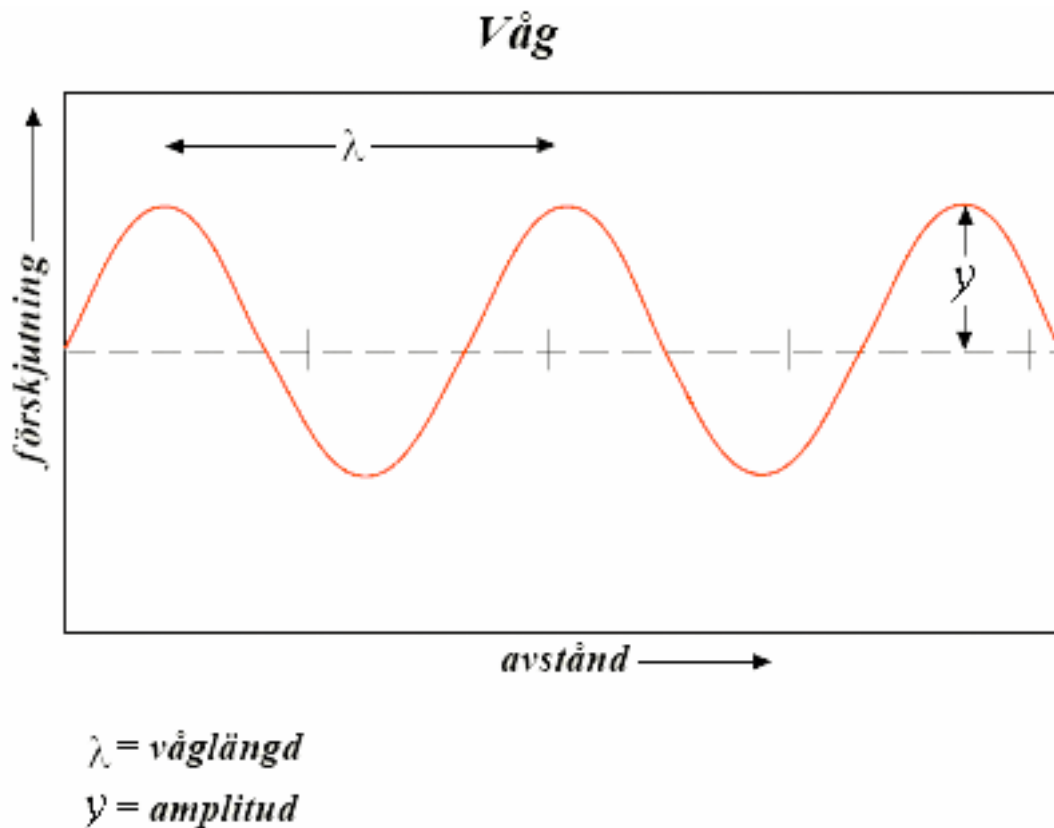
$$v = 331,3 + 0,6t$$

där enheten för hastigheten v är meter per sekund och t är luftens temperatur given i grader Celsius. I en normal rumstemperatur på 21 grader Celsius är ljudets hastighet således ca 344 m/s. (Howard & Angus 2006 s.7).

En vågrörelses frekvens är dess periodhastighet, det vill säga antalet svängningar vågen gör per sekund. Frekvensens enhet är Hertz (Hz) och definieras:

$$f = \frac{1}{T}$$

Man brukar säga att människan uppfattar ljud i frekvensregistret 20Hz-20kHz, men detta varierar med åldern och från individ till individ (Wilson 1999 1.43).



Figur 1. En vågrörelses våglängd och amplitud

Den största tryckförändringen från mediets jämviktsläge som en våg når är vågens amplitud. Amplituden – eller styrkan – för en ljudvåg mäts i den logaritmiska skalan decibel och dess enhet är då dB SPL (efter engelskans Sound Pressure Level). dB SPL ges i förhållande till det ljudtryck (Pa) som anses vara tröskelvärde för människans hörsel vid frekvensen 1kHz ($0\text{dB} = 2 \cdot 10^{-5} \text{Pa}$).

$$SPL(\text{dB}) = 20 \log \frac{P_1}{20 \cdot 10^{-6}}$$

(Ratcliff 1999 1.12f)

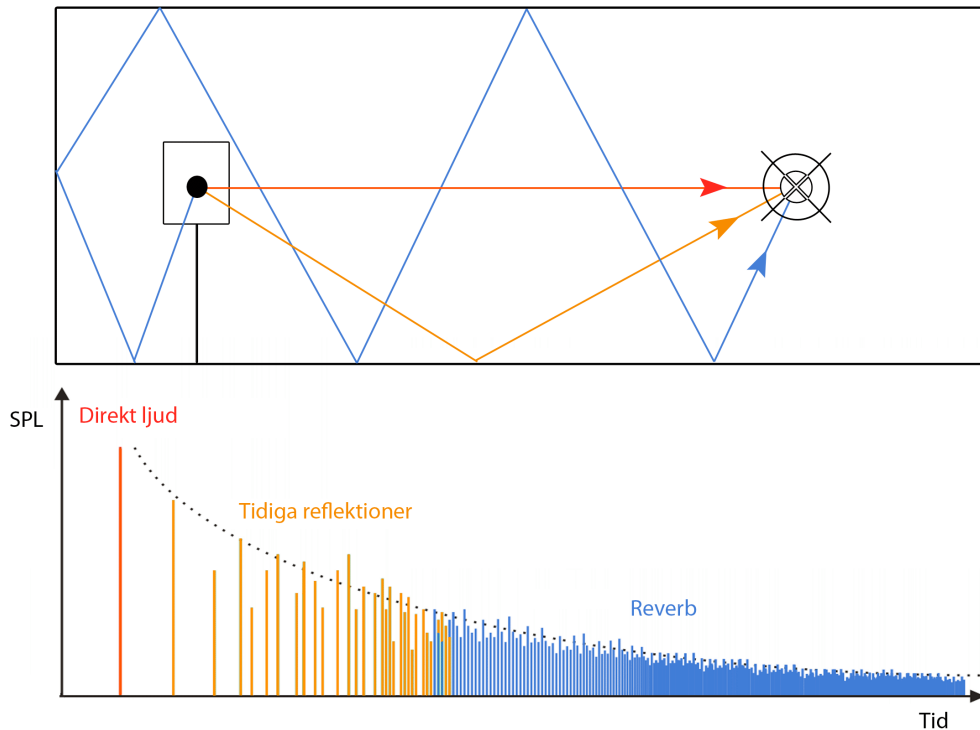
Med begreppet våglängd (λ) avses det avstånd en vågfront förflyttar sig under en period. Våglängden är alltså beroende av vågens frekvens och hastighet:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

2.3 Direkt ljud, tidiga reflektioner och reverb

Det har konstaterats att ljudets hastighet är $v = 331,3 + 0,6t$, vilket innebär att ljudvågor i ett 21°C varmt rum propagerar cirka 34 cm under en millisekund. Då man granskar hur ljud rör sig i ett rum gör man vanligen en distinktion mellan direkt och reflekterat ljud. Reflekterat ljud indelas ytterligare i tidiga reflektioner och efterklang, d.v.s. reverb (efter engelskans *reverberant sound*). Direkt ljud kallas det ljud som når sitt mål (t.ex. en åhörare eller en mikrofon) på kortast möjliga tid, alltså utan reflektion.

Kort efter att det direkta ljudet har nått sitt mål kommer de tidiga reflektionerna också att nå det via olika reflekterande ytor. De reflektioner som når målet inom 50-80 millisekunder efter det direkta ljudet kallas tidiga reflektioner. Efter att de första (tidiga) reflektionerna har nått sitt mål kommer sedan fler och fler reflektioner från alla olika håll att byggas upp. Efterklangen som hänger kvar som en ljudsvans efter det direkta ljudet kallas reverb.



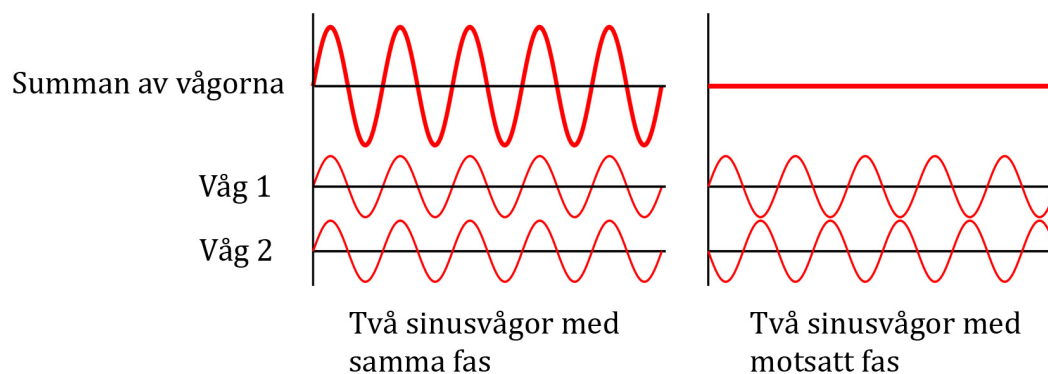
Figur 2. Direkt ljud, tidiga reflektioner och reverb

Förhållandet mellan direkt ljud, tidiga reflektioner och reverb i ett rum är därför beroende av rummets mått, avståndet mellan ljudkällan och målet samt hur ytorna i rummet reflekterar eller absorberar ljudet.

I lyssningsrum och speciellt kontrollrum är det mycket viktigt att kontrollera tidiga reflektioner. Då det direkta ljudet blandas med starka tidiga reflektioner kommer det på grund av linjär superposition (se kap. 2.4) att uppstå svackor och spetsar i frekvenssvaret. Tidiga reflektioner försämrar också separeringen av de olika elementen i stereobilden. (Rossing et al. 2002 s.526f)

2.4 Linjär superposition

Två eller flera vågor kan överlagras och blandas med varandra i en viss punkt i ett visst ögonblick. Detta fenomen beskrivs i superpositionsprincipen om linjär överlappning och kallas interferens. Linjär superposition innebär att utslagen från de enskilda vågorna adderas i samma punkt vid samma tid.



Figur 3. Konstruktiv och destruktiv interferens

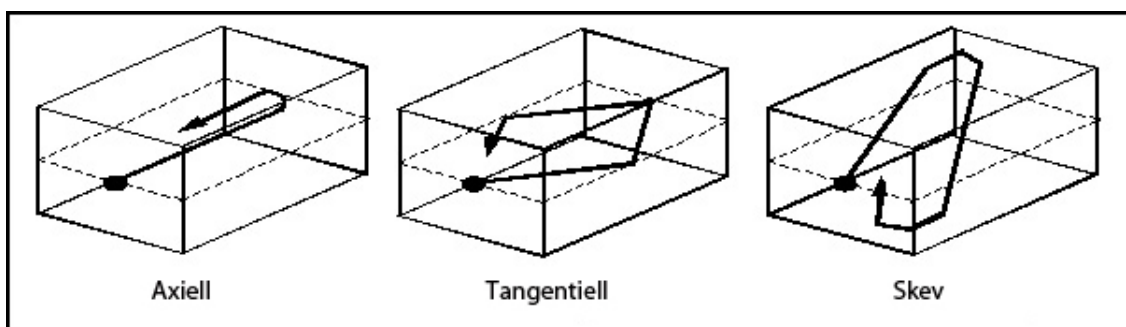
Då två ljudvågor överlappar varandra och adderas kallas det konstruktiv interferens. Om ljudvågorna har samma frekvens men motsatt fas, subtraheras de från varandra. Detta kallas destruktiv interferens.

Då en våg stöter på en yta och reflekteras tillbaka sker det en 0-180 graders färförskjutning. Detta kan på grund av linjär superposition ge upphov till fasfel och ett fenomen som kallas stående vågor. (Rossing et al. 2002 s.42ff.)

2.5 Stående vågor eller rummets resonansfrekvenser

Stående vågor uppstår i ett rum när rummets mått överensstämmer med en ljudvågs halva våglängd – och multiplar av halva våglängden. Dessa våglängder kallas också rummets resonansfrekvenser. Ljudvågor som infaller med rummets resonansfrekvenser kommer att förstärkas naturligt i rummet vilket snedvrider ljudåtergivningens frekvenssvar. Professionella lyssningsrum byggs på grund av detta ibland med icke-parallella väggar, emedan ett vardagsrum eller en hemmastudio oftast har räta vinklar på grund av praktiska skäl.

Man kan särskilja tre olika typer av stående vågor (moder) i ett fyrkantigt rum utgående från deras uppkomst; endimensionella axiella moder, tvådimensionella tangentiella moder och tredimensionella skeva moder. Axiella moder uppstår då ljudvågen reflekteras mellan två parallella ytor. Axiella moder har den största amplituden av stående vågor och är således de som starkast påverkar rummets akustiska karaktär. Tangentiella moder uppstår mellan fyra ytor och är ofta cirka hälften svagare än de axiella moderna, på grund av den kortare fria sträckan mellan reflektionspunkterna. Skeva moder uppstår då ljudet reflekteras mellan samtliga ytor i ett rum och är ytterligare cirka 6 dB svagare än de tangentiella moderna, alltså bara en fjärdedel av axiella moderna i ett rum. Det är värt att notera att de stående vågornas amplitud blir starkast i hörnen av ett rum.



Figur 4. De tre olika typerna av stående vågor i ett rektangulärt rum

Den matematiska formeln för beräkning av stående vågor i ett rektangulärt rum lyder:

$$f_{x,y,z} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{q_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{q_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{q_z}{L_z}\right)^2}$$

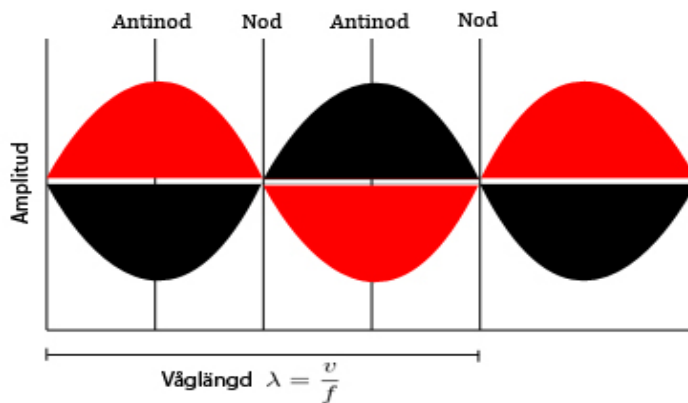
där L_x , L_y och L_z är rummets dimensioner i meter och q_x , q_y och q_z är variabler 0,1,2,3... vilka anger harmonierna av basfrekvensen för respektive stående våg.

För axiella moder och deras harmonier bör två av variablerna $q_x, q_y, q_z = 0$, för tangentiella moder bör en av variablerna $q_x, q_y, q_z = 0$ och för skeva moder är ingen av variablerna $q_x, q_y, q_z = 0$.

För ljudåtergivningen i ett rum är stående vågor speciellt problematiska i det lägre basregistret. De högre harmonierna minskar i amplitud och absorberas lättare av möbler, textilier, etc. (Rossing et al. 2002 s.566).

2.6 Rumsnoder

Stående vågor av sådan ordning att hela våglängden ryms i rummet (eller högre harmonier av den, det vill säga $q_x, q_y, q_z \geq 2$ i formeln ovan) resulterar på grund av linjär superposition i att så kallade noder och antinoder uppstår i rummet. Detta innebär i praktiken att de stående vågornas inverkan inte blir jämn över hela rummet. På vissa platser förstärks nämligen resonansen i rummet, och på andra platser (där vågformen passerar noll) försvagas resonansen. Rumsnoder ger alltså upphov till förstärkning och försvagning av olika frekvenser på olika platser i rummet. (Rossing et al. 2002 s.44ff)



Figur 5. Noder och antinoder som följd av linjär superposition

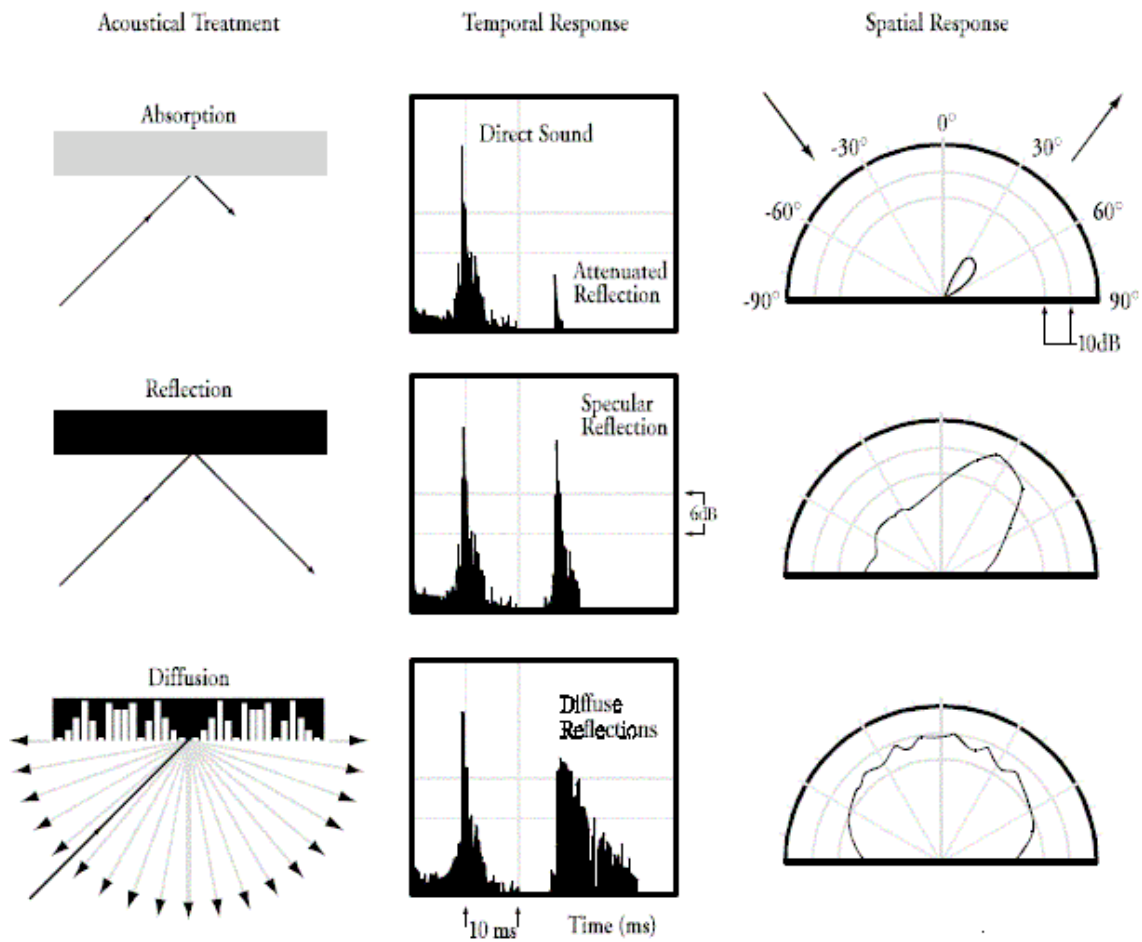
2.7 Akustisk behandling av lyssningsrum

Hittills nämnda fenomen – som färgar ljudåtergivningen i ett lyssningsrum – eftersträvar man traditionellt att kontrollera med byggnads- och inredningstekniska medel. Om rummet byggs för att fungera som ett lyssningsrum kan man t.ex. minska de stående vågornas inverkan på ljudåtergivningen genom att välja för ändamålet fördelaktiga förhållanden mellan längden, höjden och bredden i rummet. Då strävar man efter en jämn fördelning av stående vågor över ett brett spektrum.

De stående vågornas energi kan också absorberas med hjälp av så kallade basfällor. Då ljudvågornas energi absorberas omvandlas den till värme- eller kinetisk energi. Det finns olika typer av basfällor, vars funktionsprinciper varierar, men gemensamt för alla är att de oftast kräver både stor volym och massa för att fungera effektivt.

På grund av att både våglängden och energin minskar ju högre frekvensen är för en ljudvåg, behöver absorbenter för de högre frekvenserna inte vara lika massiva som basfällorna. Hårda ytor, så som stenväggar täcks ofta med tyger, mattor, stenull och andra porösa material med syfte att omvandla ljudvågen till värme.

Utöver absorbering av ljudvågornas energi inom valda frekvensområden är diffusion av reflekterade ljudvågor ett annat vanligt hjälpmedel i strävan efter en jämn ljudåtergivning. Genom diffusion (spridning) av de ljudvågor som reflekteras från rummets ytor kan man minska antalet och styrkan av de tidiga reflektionerna. Diffusorer är med fördel konvexa till sin form och deras yta är ojämn. (Rossing et al. 2002 s.579ff)



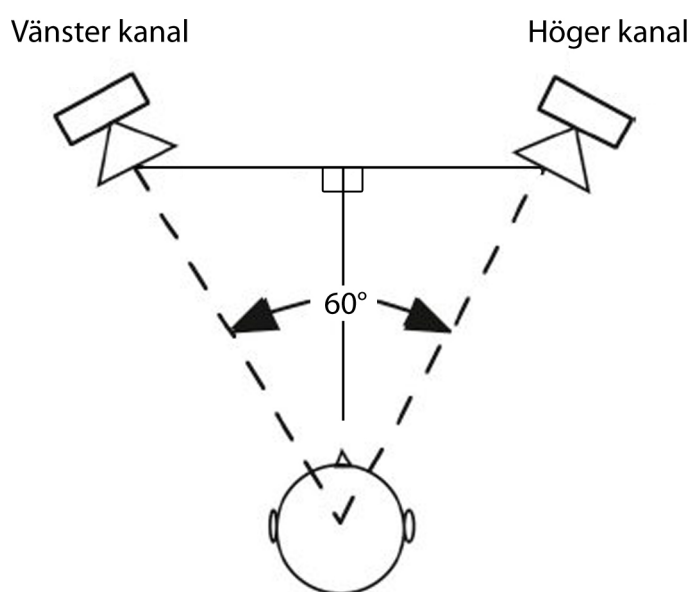
Figur 6. Åskådliggörande av skillnaderna mellan absorbtion, reflektion och diffusion (D'Antonio)

Professionella kontrollrum byggs ofta med en strävan efter ett reflektionsfritt område i lyssningspositionen. Ett reflektionsfritt område skapas då genom att styra alla tidiga reflektioner till bakre delen av kontrollrummet, där ljudvågorna sedan sprids jämnt genom diffusion via bakväggen. Detta leder till att det direkta ljudet inte färgas av tidiga reflektioner och efterklngen blir neutral. (Rossing et al. 2002 s.586)

2.8 Stereofoniskt ljud och högtalarnas placering i rummet

Det vanligaste sättet att återge ljud så att dess spatiala karaktär bibehålls är genom det stereofoniska systemet (stereo). I stereoljudåtergivning används två högtalare som sinsemellan återger skilda ljudsignaler. Genom att variera förhållandet av det återgivna ljudets tryck och fas mellan de två högtalarna, kan man skapa illusionen av att riktningen för ljudets källa varierar.

För att stereoljudåtergivning ska fungera som tänkt bör åhöraren vara placerad i ett område mellan högtalarna. Man brukar utgå från att högtalarna och åhörarens huvud ska bilda en liksidig triangel. Punkten som bildar en liksidig triangel mot högtalarna kallas *sweet spot*.



Figur 7. Stereofonisk ljudåtergivning.

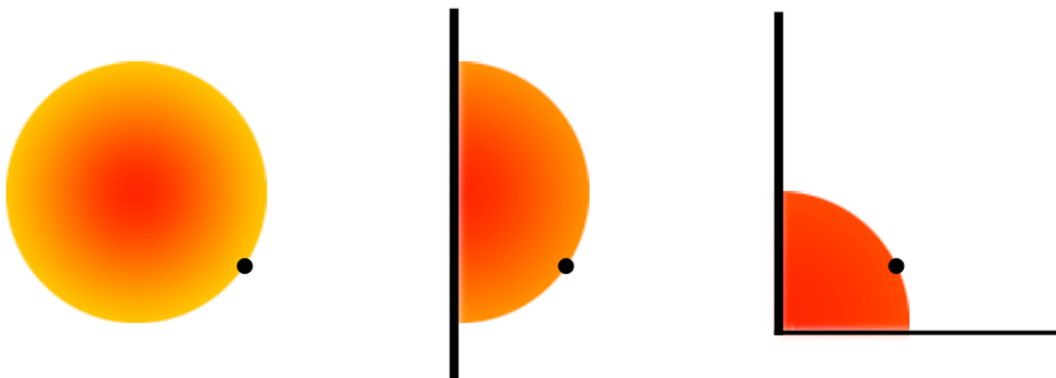
I föregående kapitel konstaterades det att man strävar efter att minimera de tidiga reflektionerna i sweet spot:en. De tidiga reflektionerna skapar konstruktiv och destruktiv interferens samt introducerar tidsskillnader gentemot det direkta ljudet, vilket medför att det återspelade ljudets spatiala karaktär förvrängs. Vilken inverkan de tidiga reflektionerna har på det återspelade ljudet är beroende av färförskjutningen av det

reflekterade ljudet och dess amplitud gentemot det direkta ljudet. Eftersom färförskjutning (och därav följande -släckning eller -förstärkning) är beroende av ljudets våglängd, kan man konstatera att högtalarna borde placeras så att inget av avstånden till de närliggande reflekterande ytorna är lika stora (D'Antonio s.6).

Genom att placera högtalaren nära en vägg kommer en naturlig förstärkning av basregistret att inträffa. Detta fenomen härrör sig till den omnidirektionella natur lågfrekvent ljud har: i ett fritt fält avtar ljudintensiteten omvänt proportionellt mot avståndet från ljudkällan. Matematiskt beskrivs detta på följande sätt:

$$L_p = L_w + 10 \log \frac{Q}{4\pi r^2}$$

där L_p är ljudintensiteten i en viss punkt, L_w är ljudintensiteten vid källan, Q är riktningskoefficient (som i ett fritt fält är 1) och r avståndet. Om högtalaren ställs mot en vägg kommer en del av det ljud som i ett fritt fält skulle fortsätta ”bakåt” att radiera tillbaka från väggen. Då är $Q > 1$ och ljudintensiteten har förstärkts på grund av högtalarens placering. Om man ställer högtalaren i hörnet mellan två rätvinkliga väggar blir $Q \approx 4$ och placeras högtalaren i hörnet mellan tre ytor (t.ex. väggar och tak) blir $Q \approx 8$.



Figur 8. Ljudintensiteten där riktningskoefficient $Q=1$, $Q=2$ och $Q=4$.

Den förstärkning av ljudintensitet som radierande ytor medför förstärker även de stående vågorna i rummet. Genom att minska avståndet mellan högtalaren och de reflekterande ytorna i rummet kommer den frekvens där de tidiga reflektionerna medför fassläckning att stiga. Eftersom höga frekvenser absorberas lättare än låga på grund av deras kortare våglängd, är detta ett argument för att placera högtalarna mot väggarna (eller i rummets hörn), emedan förstärkningen av stående vågor talar för att placera högtalarna så långt som möjligt från väggar och hörn. (Rossing et al. 2002 s.546f, D'Antonio 6f)

2.9 Digital rumskorrigerig (DRC)

Med digital rumskorrigerig (hädanefter DRC) strävar man efter att åstadkomma en neutral ljudåtergivning genom att digitalt behandla signalen innan den återspelas, på ett sådant sätt att rummets förvrängande inverkan på ljudåtergivningen motverkas. Detta görs genom att mäta hur rummet påverkar ljudåtergivningen, varpå möjliga ojämnheter i frekvenssvaret och fäsfel i teorin kan utplånas genom att modifiera signalen med den ”omvända bilden” av rummet. Modifiering av signalkedjans frekvenssvar genom ekvalisation för en neutral ljudåtergivning är ingen ny idé, men den digitala ljudteknikens utveckling har möjliggjort nya former av signalbehandling med en noggrannhet och resolution som inte tidigare varit möjlig att åstadkomma med analog teknik.

DRC har dock tre allmänt diskuterade fallgropar:

1. Den interferens som uppstår då direkt och reflekterat ljud blandas är olik för skilda punkter i rummet. Fäsförskjutning, noder och antinoder gör att ingen punkt är en annan lik. Detta innebär att även om man med DRC lyckas korrigera ljudåtergivningen perfekt i en specifik mätningpunkt, kommer resten av rummet att vara okorrigerat, och troligen försämrat.
2. Fassläckning kan leda till ”svackor” i frekvenssvaret i storleksordningen 30-40 dB SPL, och om man försöker kompensera dessa genom ekvalisation kommer högtalarnas och förstärkarnas dynamikområde att minska markant och snabbt överbelastas. Det positiva med svackor i frekvenssvaret är dock att människan inte alls är lika känslig för dem jämfört med lika starka toppar. Därför har många

tillverkare av DRC-produkter också medvetet låtit bli att försöka korrigera svackor över huvudtaget.

3. Möjliga artefakter och fel som kan uppstå i samband med DRC låter väldigt onaturliga, då människans hörsel inte har lärt sig diskriminera den typen av ljud. Ljudfilter, så som allt annat i denna värld, följer principen om kausalitet. Med detta menas att en verkan inte kan föregå dess orsak. Inom DRC kan detta kringgås genom att introducera en allmän fördröjning för hela signalen, varpå alltså en verkan kan föregå dess fördröjda orsak. Detta är grundtanken i försök att med DRC korrigera de fasförskjutningar som reflektioner i lyssningsrummet medför. Man motverkar då den fasförskjutna ljudvågen genom att också återge inversen av den, så att summan av vågorna i lyssningspunkten tar ut varandra och således inte påverkar det direkta ljudet. Detta kan dock leda till att man i vissa punkter i rummet kan höra denna inverterade verkan före det direkta ljudet – som ett ”för-eko” – vilket alltså låter mycket konstigt i människans öron.
(Gerzon 1991 s.1ff)

2.10 KRK Ergo

KRK Ergo – som står för *Enhanced Room Geometry Optimization* – är en kombination av ett ljudkort till datorn, en högtalarkontrollenhet och en mikroprocessor för DRC. Till produkten tillhör också en mätmikrofon för kalibrering av DRC-filtret.



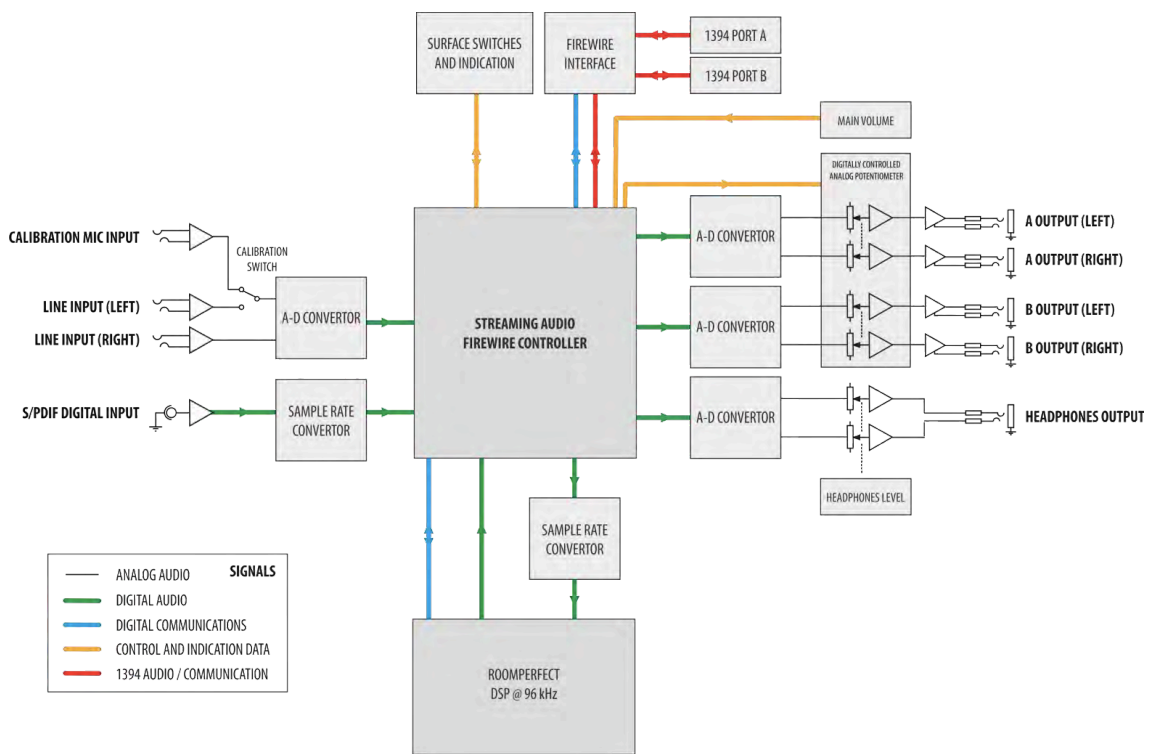
Figur 9. KRK Ergo med tillhörande mätmikrofon
(www.krksys.com)

Mätning av rummet och kalibrering av Ergo DRC-filter sker genom ett av tillverkaren tillhandahållet program som installerats på en dator. Mot datorn kopplas Ergo genom *firewire* (IEEE 1394) under kalibreringen. Ergo har två par utgångar för koppling av högtalarna. Användaren ges valmöjligheten att antingen använda två skilda högtalarpar, vilka lyssningen kan växlas mellan, eller ett högtalarpar med skild lågfrekvenshögtalare (subwoofer). Det förstnämnda alternativet kallas A+B-mode, och det sistnämnda Subwoofer-mode, som är den konfigureringen som används i detta arbete. Då kalibreringen av Ergo är gjord sparas rummets profil i produktens interna minne, varpå Ergo kan användas utan dator. Då kopplas Ergo i signalkedjan mellan källan och högtalarna, antingen analogt med balanserad ¼" TRS-koppling, eller digitalt med RCA (S/PDIF-standard) mot källan, och analogt mot högtalarna. Om Ergo samtidigt ska fungera som ljudkort för datorn, bibehålls firewire-kopplingen, varpå ovannämnda ingångar fungerar som ljudkortets ingångar.

Ergo har två operationsmoder för skilda lyssningssituationer: *Focus* och *Global*. Focus-mod innebär att åhöraren sitter i stereolyssningens *sweet spot* (se figur 7) och då sätts all processorkraft på att korrigera ”problem i tids- och frekvensdomänen”. I Global-mod korrigeras endast frekvensåtergivningen, för ett större lyssningsområde. Användaren kan växla mellan operationsmoderna genom att trycka på en knapp på Ergos panel. Användaren kan även välja att stänga av DRC:n genom Ergos *Bypass*-mod.

Kalibrering av Ergo sker genom att koppla den tillhandahållna mätmikrofonen till Ergo, och starta kalibreringsprogramvaran på datorn. Då ombeds användaren justera ljudnivån, medan Ergo spelar upp en testsekvens av bredbandsbrus. Då ljudnivån enligt Ergo är lämplig börjar själva mätningarna. Först görs mätningen i *sweet spot*:en för Focus mode. Sedan ombeds användaren flytta mikrofonen och göra mätningarna ”på olika platser i rummet”. Ergo ger en procent för hur väl den känner igen rummet, kallat ”room knowledge”, som ökar för varje enskild mätning. Då denna procent är över 90% kan profilen för rummet sparas och kalibreringen avslutas.

Algoritmen för Ergos DRC kommer från det danska företaget Lyngdorf Audio, och kallas Room Perfect. Korrigeringarna uppger tillverkaren att görs med ett 1024-steps FIR filter. Sampelfrekvensen för DRC:n uppges vara 96kHz. Ergo påverkar endast frekvensområdet 20-500Hz. (KRK Ergo manual)



Figur 10. Ergos interna signalkedja
(KRK Ergo manual)

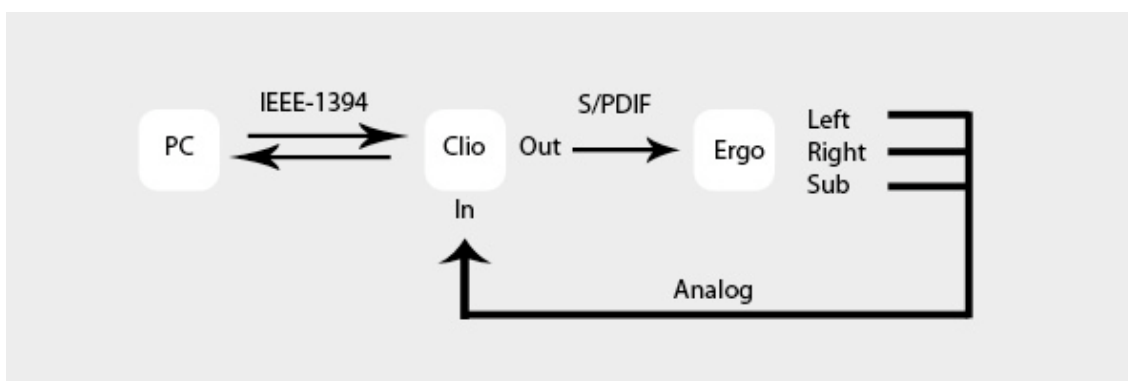
3 MÄTNINGAR OCH RESULTAT

3.1 Mätutrustningen och utförandet av mätningarna

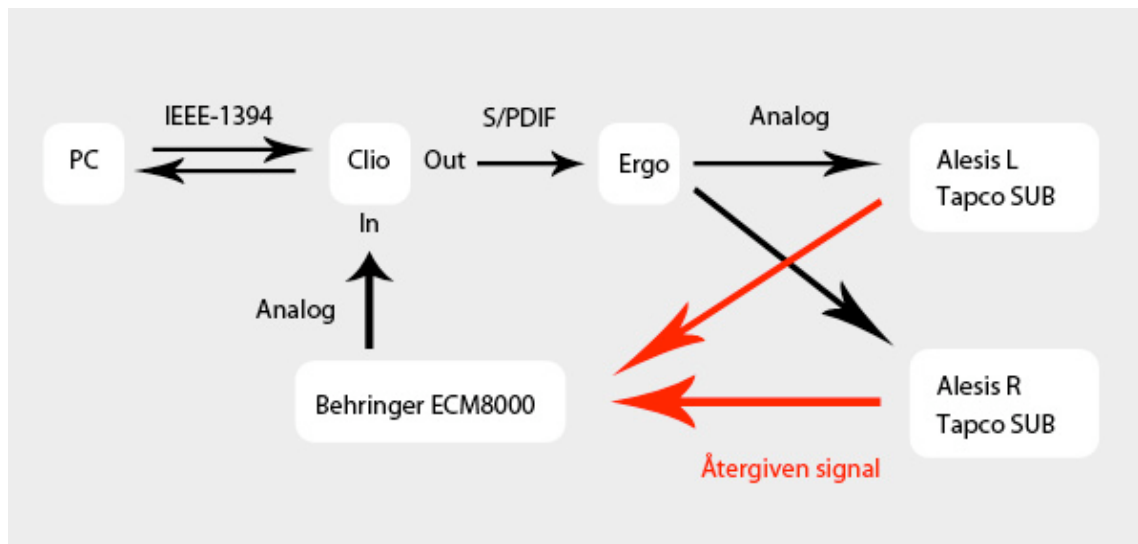
Mätsystemet som används för de kvalitativa mätningarna i detta examensarbete är av den italienska tillverkaren Audiomatica och kallas Clio. Clio består av en programvara för PC och ett ljudkort som sköter AD/DA-konverteringen och tillhandahåller förstärkning för de analoga signalerna. Ljudkortet kopplas med IEEE-1394 standarden mot värddatorn.

Som mätmikrofon används en rundtagande kondensatormikrofon av märket Behringer ECM8000 (bilaga 1). Ljudåtergivningssystemet som används för kalibreringen av Ergo och de akustiska mätningarna består av ett par Alesis M1 Active MK2 högtalare (bilaga 2) och en Tapco SW-10 subwoofer (bilaga 3). Samtliga högtalare har inbyggd förstärkning.

För att undersöka Ergos inverkan på det återspelade ljudet görs två olika typer av mätningar: elektriska och akustiska. De elektriska mätningarna görs – efter att Ergo har kalibrerats för rummet – genom att koppla utgående signal från Clio till Ergo och sedan mäta den utgående signalen från Ergo i den elektriska domänen. De akustiska mätningarna görs genom att koppla utsignalen från Ergo till högtalarna och sedan mäta den återspelade signalen för vänster högtalare och subwoofer genom mätmikrofonen. Vid såväl akustiska som elektriska mätningar används Ergo i dess tre olika lägen: focus, global och bypass.



Figur 11. Signalkedjan för de elektriska mätningarna



Figur 12. Signalkedjan för de akustiska mätningarna.

Som mätmetod används Log Chirp som analyserar en av Clio genererad logaritmiskt svepande signal från 20 Hz till 20 kHz med längden 256k (cirka 5,4 sekunder som är maximal längd i Clio). Clio härleder sedan frekvens- och impulssvaren automatiskt. Som fönster väljs på handledare Claus Lindqvists uppmaning Hanning/2.

3.2 Lyssningsrummet och högtalarplaceringen i det

Lyssningsrummet som Ergo kalibreras mot är ett rektangulärt rum med måtten 408x307x232 cm. Väggar och tak är klädda med träpanel och golvet är ett plankgolv. Inredningen i rummet består av en soffa och ett glasbord. Golvet är täckt med en 290x200 cm stor matta i bomull. De i ordningen lägsta frekvenserna för de stående vågorna i lyssningsrummet presenteras i tabell 1.

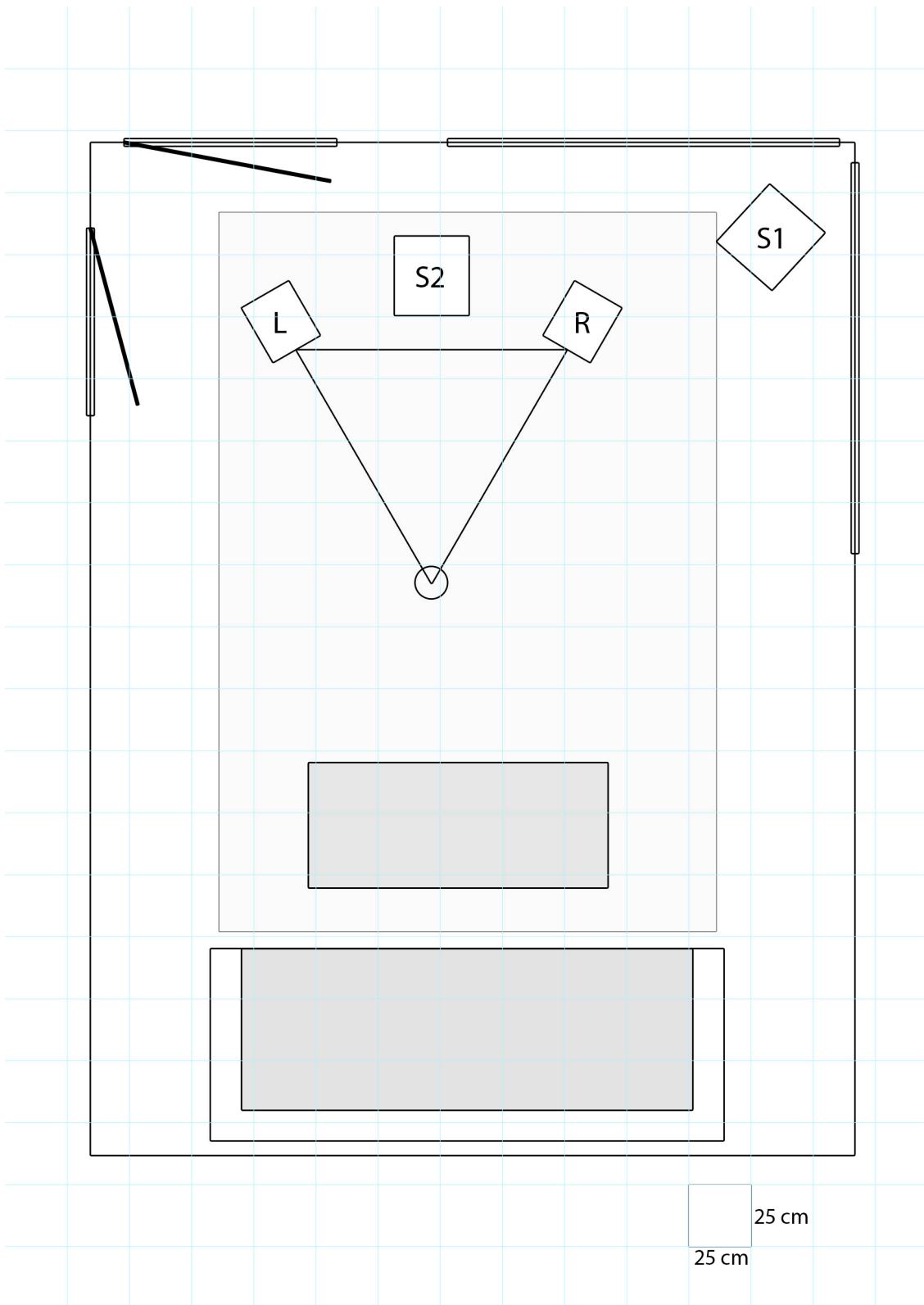
Tabell 1. De stående vågorna i lyssningsrummet enligt funktionen

$$f_{x,y,z} = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\left(\frac{q_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{q_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{q_z}{L_z}\right)^2\right)}$$

Höjd (z)	Bredd (y)	Längd (x)	Resonansfrekvens (Hz)
0	0	1	42
0	1	0	56
0	1	1	70
1	0	0	74
0	0	2	84
1	0	1	85
1	1	0	93
1	1	1	102
0	2	0	112
1	1	2	125
0	2	2	140
1	2	1	141
2	0	0	148
2	1	1	164
2	0	2	171
2	2	0	186
2	2	2	204

Vid placeringen av högtalarna i rummet beaktas de råd som tillverkaren tillhandahåller i Ergos manual. Högtalarna placeras på samma höjd som mätmikrofonen (128 cm mätt från golv till diskantelementens mittpunkt) och på ett sådant sätt att mikrofonen och högtalarna bildar en liksidig triangel med sidlängden 134,5 cm. Mätningarna görs med subwoofern placerad i två olika lägen. Subwoofern placeras för den första mätningen i det främre högra hörnet (från lyssningspunkten sett), och för den andra i stereobildens mittpunkt (se figur 11 Lyssningsrummets bottenplan och högtalarplaceringen). Samtliga högtalares nivåer kalibreras så som manualen förevisar. (KRK Ergo manual)

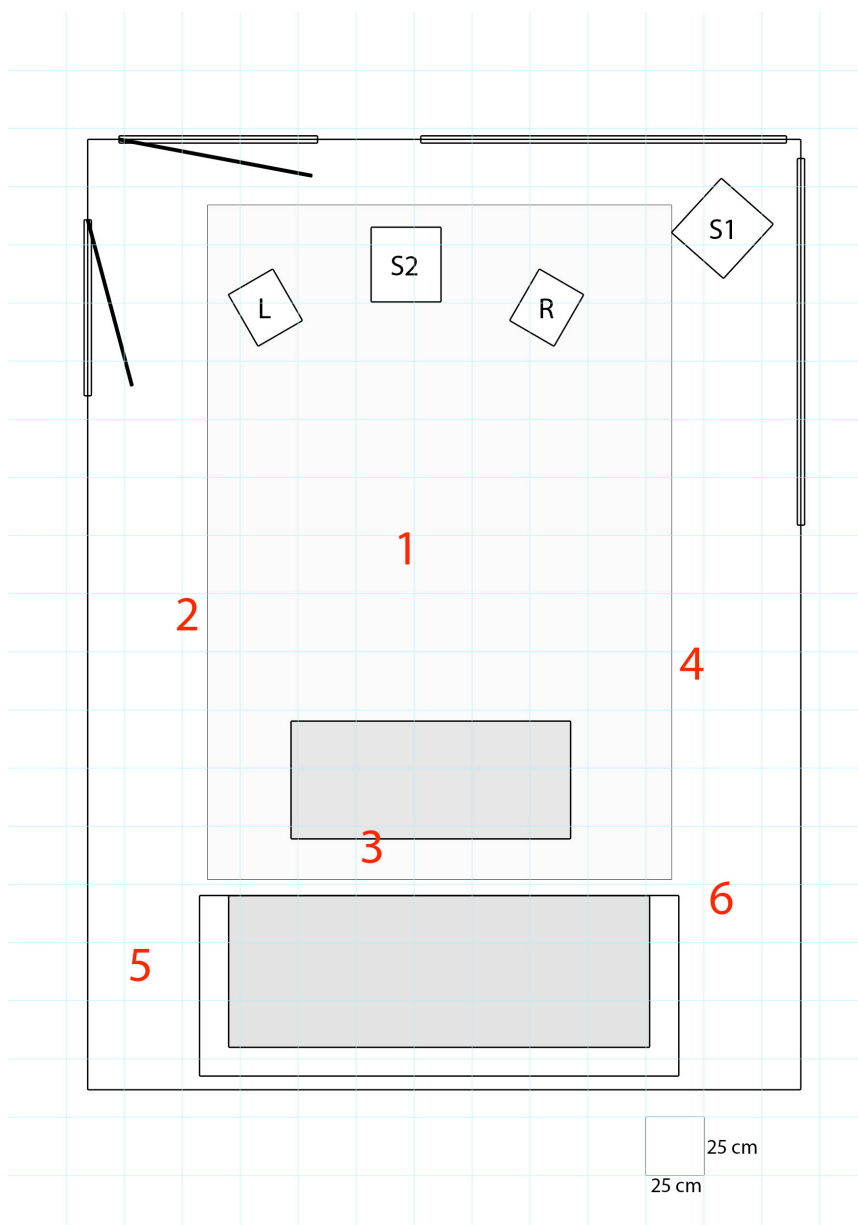
Högtalarplaceringen leder till att de första reflektionerna från tak, golv och vägg kommer att nå lyssningspunkten 3–4 ms efter att det direkta ljudet har nått den (se bilaga 4).



Figur 13. Lyssningsrummets bottenplan och högtalarplaceringen. Skala 1:25.

3.3 Kalibreringen av Ergos DRC för lyssningsrummet

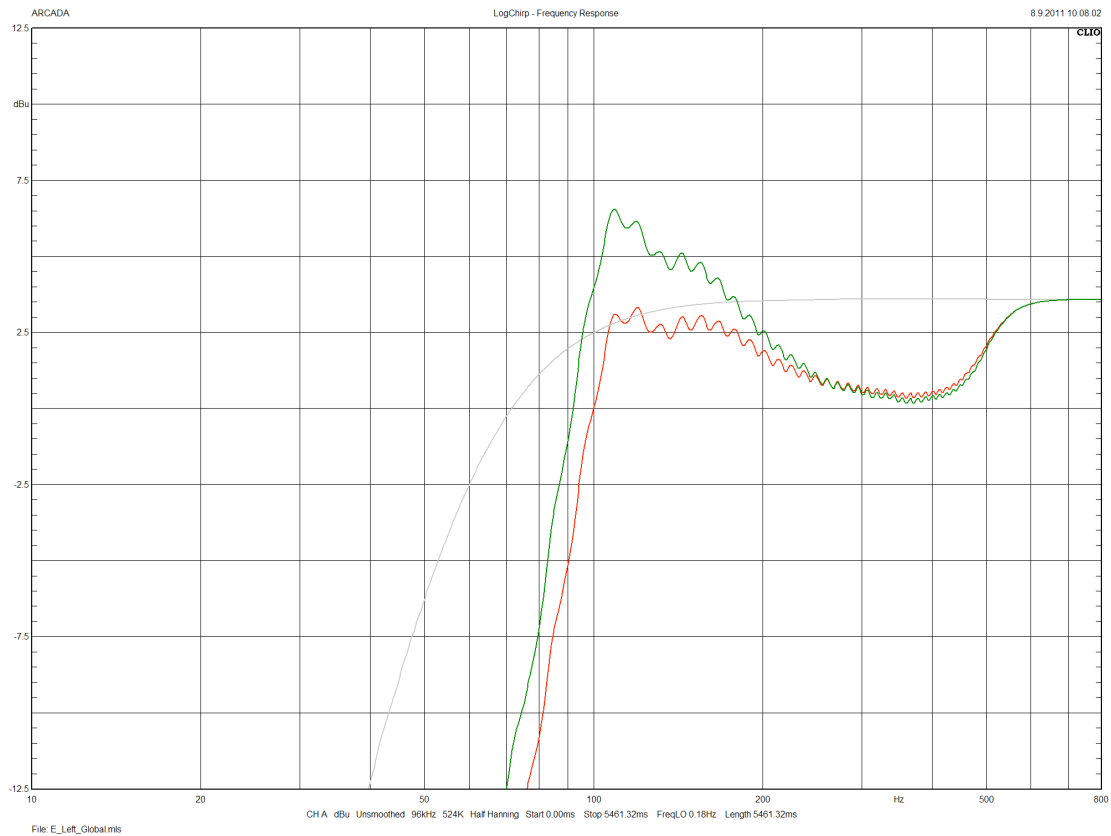
Ergos DRC kalibreras med hjälp av den programvara (Ergo Cal version 1.0) som följer med produkten. Mätningarna görs för sex olika punkter i rummet. Efter kalibreringen ställs Ergos korsfilter för subwoofern till 80 Hz. Eftersom mätningarna utförs med subwoofern i två olika positioner i rummet, görs också kalibreringen för Ergos DRC i två omgångar.



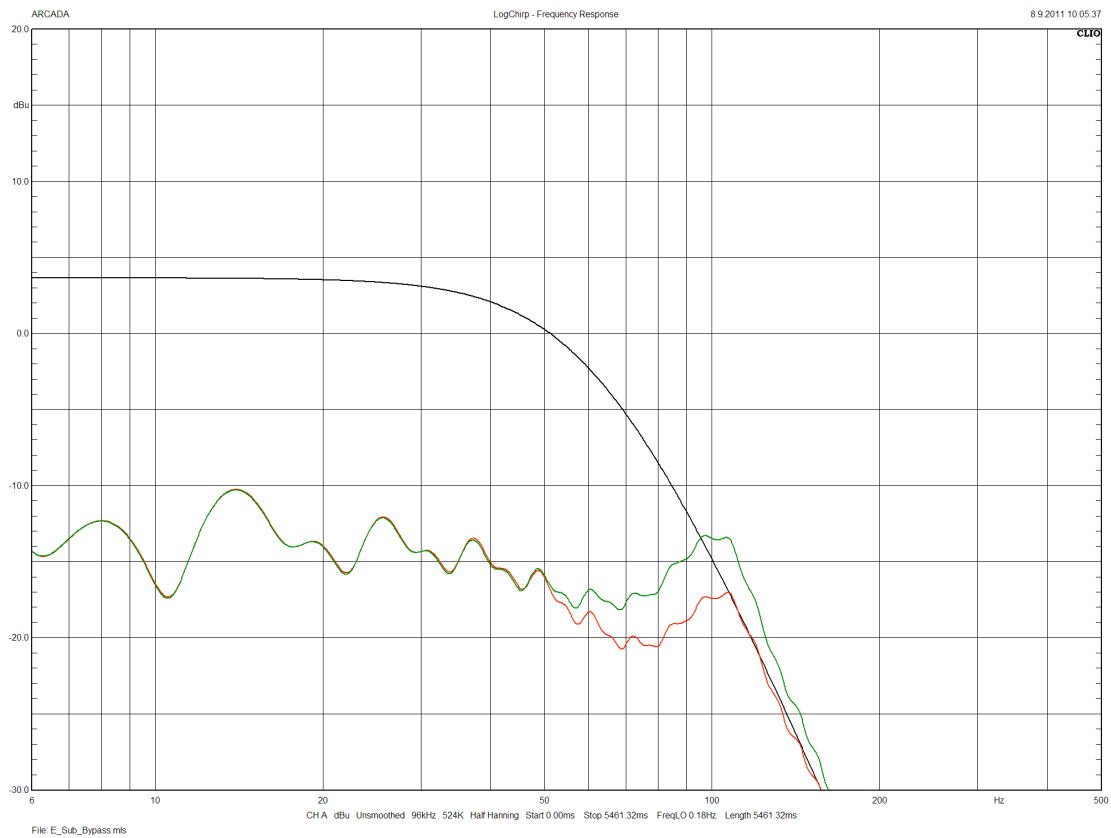
Figur 14. Skiss över mikrofonplaceringarna i lyssningsrummet för kalibreringen av Ergo

3.4 Elektriska mätningar 1

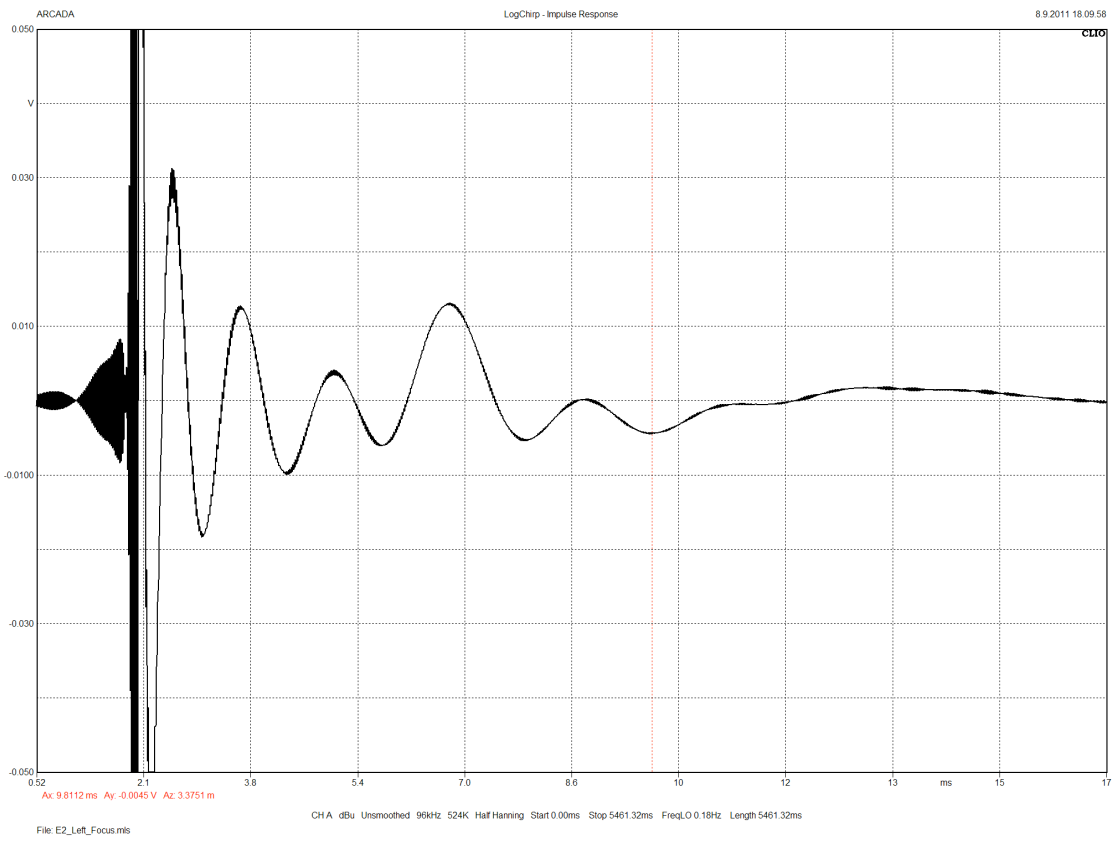
Nedan följer frekvenssvaret från de elektriska mätningarna, där Ergos DRC är kalibrerad med subwoofern placerad i hörnet.



*Figur 15. Vänster kanals utsignal i den elektriska domänen (subwoofern i hörnet).
Den gröna kurvan anger focus-, den röda global- och den svarta bypass-mod.*



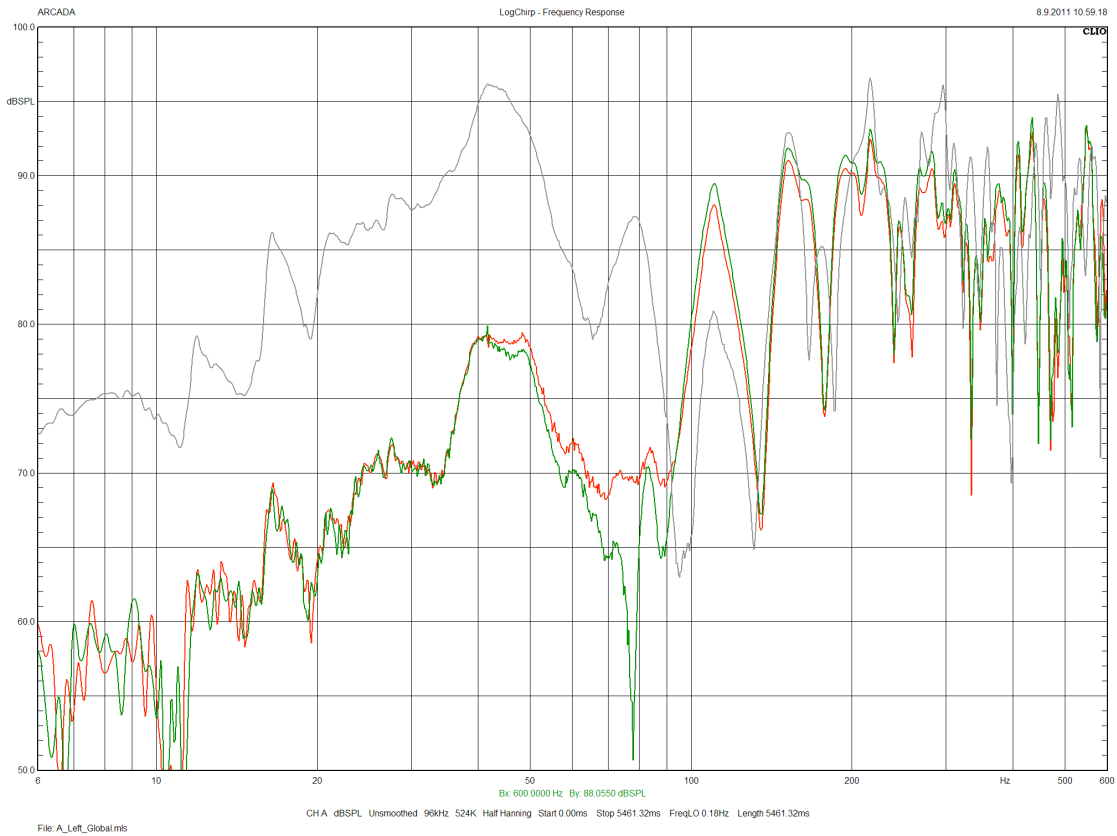
*Figur 16. Subwooferkanalens utsignal i den elektriska domänen (subwoofern i hörnet).
Den gröna kurvan anger focus-, den röda global- och den svarta bypass-mod.*



Figur 17. Impulssvaret för vänster kanals utsignal i focus-mod.

3.5 Akustiska mätningar 1

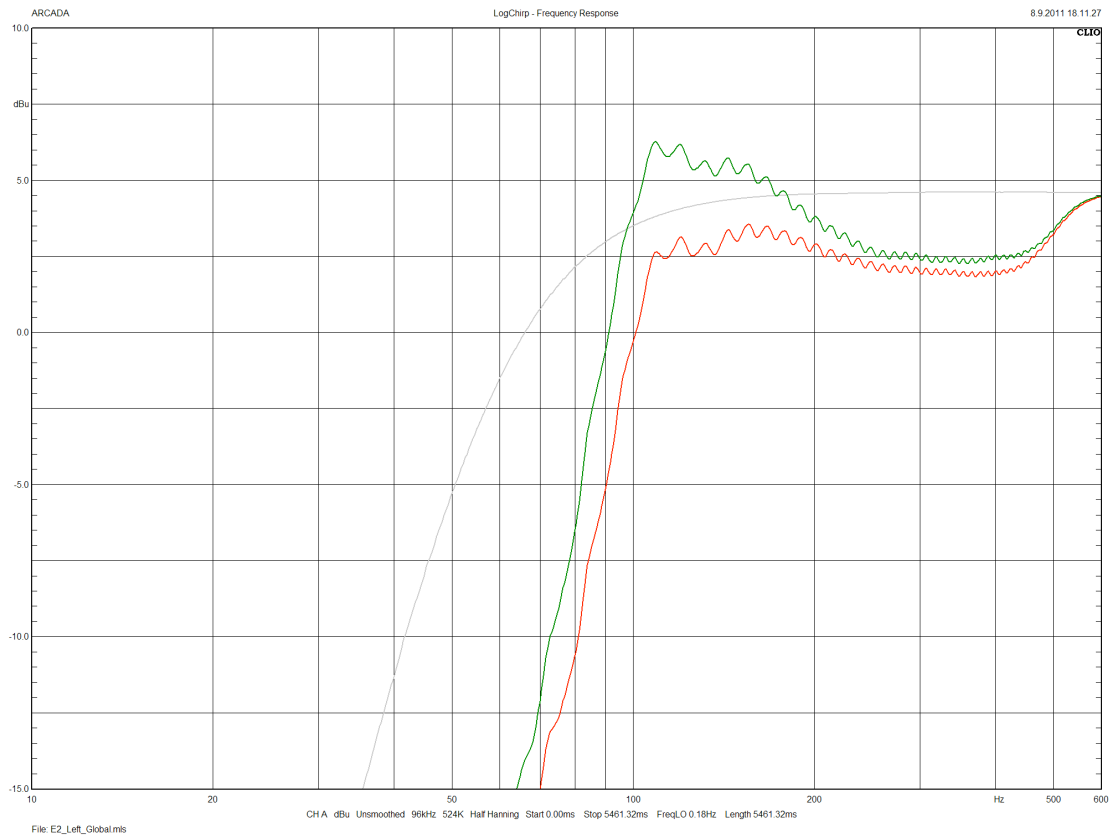
Nedan följer frekvenssvaret från den akustiska mätningen av vänster högtalare med subwoofer, där Ergos DRC är kalibrerad med subwoofern placerad i hörnet.



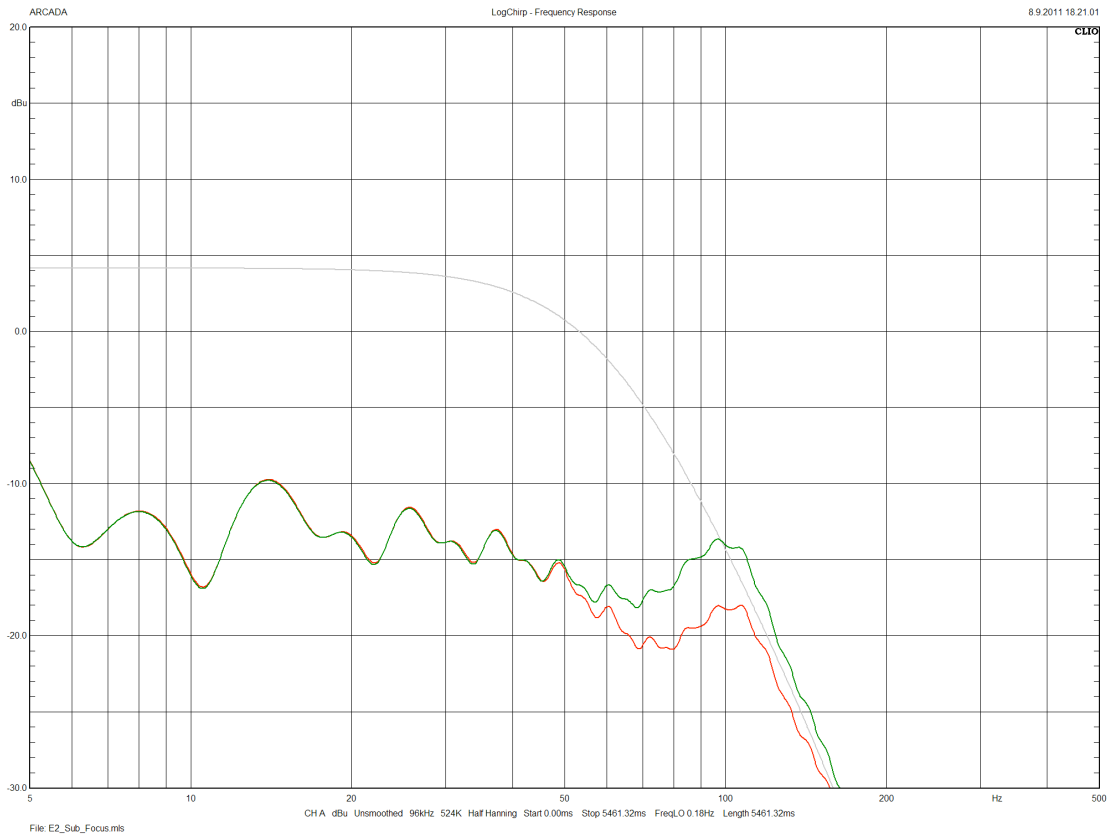
Figur 18. Vänster kanals utsignal i den akustiska domänen (subwoofern i hörnet).
Den gröna kurvan anger focus-, den röda global- och den svarta bypass-mod.

3.6 Elektriska mätningar 2

Nedan följer frekvenssvaret från de elektriska mätningarna, där Ergos DRC är kalibrerad med subwoofern placerad i mitten av stereobilden.



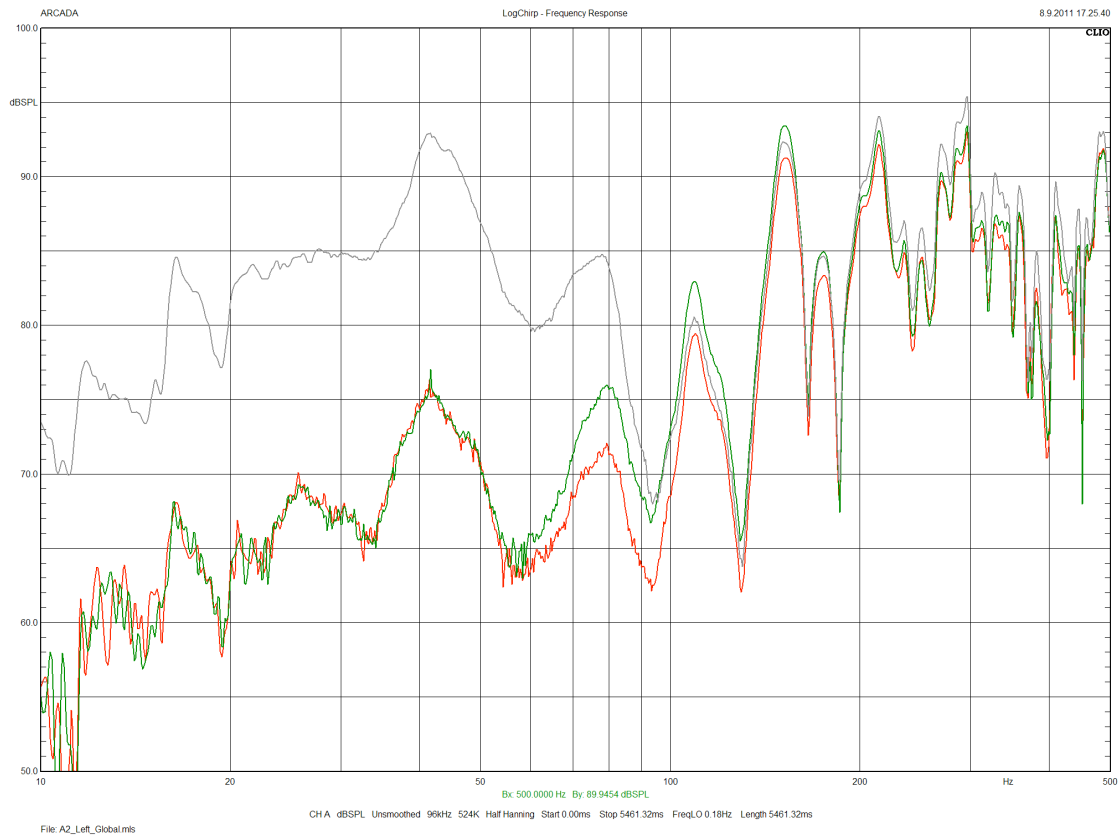
*Figur 19. Vänster kanals utsignal i den elektriska domänen (subwoofern i mitten).
Den gröna kurvan anger focus-, den röda global- och den svarta bypass-mod.*



*Figur 20. Subwooferkanalens utsignal i den elektriska domänen (subwoofern i mitten).
Den gröna kurvan anger focus-, den röda global- och den svarta bypass-mod.*

3.7 Akustiska mätningar 2

Nedan följer frekvenssvaret från den akustiska mätningen av vänster högtalare med subwoofer, där Ergos DRC är kalibrerad med subwoofern placerad i mitten av stereobilden.



Figur 21. Vänster kanals utsignal i den akustiska domänen (subwoofern i mitten).

Den gröna kurvan anger focus-, den röda global- och den svarta bypass-mod.

4 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

Subwoofern placerade jag i ett av rummets hörn för att se hur Ergo åtgärdar den av rummets väggar förstärkta basåtergivningen. I Ergos användarhandbok hävdar tillverkaren att detta kan rekommenderas på grund av att Ergo då kan sänka utsignalen i det lägsta registret och således underlätta belastningen på högtalarna. I de elektriska mätningarna (figur 16) kan denna strävan tydligt urskiljas, då man jämför signalstyrkan för focus- och global-mod med bypass-mod. Signalstyrkan för de behandlade signalerna sjunker med 15-20 dBu jämfört med den icke-behandlade bypass-signalen. Dessvärre resulterar denna dramatiska filtrering inte i en jämn ljudåtergivning i den akustiska domänen. Med signalbehandlingen inkopplad känns det återgivna ljudet väldigt basfattigt, något som stärks av mätresultaten i den akustiska domänen, som presenteras i figur 18. Av dessa mätresultat framgår klart den en aning för kraftiga basåtergivningen i det lägsta registret i bypass-mod, och den första axiella stående vågen på 42Hz som jag förutsåg i kapitel 3.2 står tydligt att urskilja. En annan axiell stående våg, den som uppstår mellan golv och tak på 74 Hz ses också i samtliga mätningar. Med signalbehandlingen inkopplad har hela basåtergivningen under 100 Hz sänkts drastiskt. De stående vågornas amplitud gentemot närliggande frekvenser har inte heller minskat och jämnats ut. Den enda markanta förändringen hittas just i området 70-80 Hz, där Ergo i focus-mod har introducerat ett smalt filter som sänker området med hela 35 dB SPL. Karikerat kan jag ändå säga att resultatet av Ergos signalbehandling överlag här påminner mera om en ekvalisators hyllfilter med värdet -15 dB för frekvenser under 100 Hz, än något som kunde förväntas av en avancerad 1024 bands DRC-processor.

Genom att placera om subwoofern från rummets hörn till mitten av stereobilden sjönk intensiteten för det lägsta basområdet (under 80 Hz) som helhet med 3-4 dB SPL (jämför figur 18 och figur 21), och det återspelade ljudet lät mera balanserat med denna nya högtalarplacering. Men då kalibreringen av Ergo var gjord och signalbehandlingen var inkopplad upprepades den markanta försvagningen av basåtergivningen på samma sätt som tidigare. I såväl global- som focus-mod var försvagningen överlag under 100 Hz i storleksklassen -12 dB SPL. Denna gång lämnades området 70-80 Hz oförändrat (förutom den allmänna sänkningen av hela basområdet). De akustiska mätresultaten återspeglar klart den sänkta amplitud för focus- och global-mod, som uppmättes i den elektriska domänen (figur 20).

Av mätresultaten för vänster högtalare i den elektriska domänen (figurerna 15 och 19) framgår att signalstyrkan i focus-mod är en aning starkare än de övriga i området 100-200 Hz. Detta återspeglas också i de akustiska mätresultaten, speciellt i området 100-120 Hz.

De plötsliga svackorna (kamfiltreringen) som kan utläsas i de akustiska mätningarnas frekvenssvar är resultatet av fassläckning, som följd av destruktiv interferens mellan direkt ljud och tidiga reflektioner. Då man jämför focus-, global- och bypass- kurvorna i figur 18 och 21, ser man att denna kamfiltrering förblir tämligen oförändrad oberoende av signalbehandling eller ej. Ergo misslyckas alltså också på denna punkt, trots att man ur impulssvaret i figur 17 kan se att signalen också påverkas över tiden som följer efter den initiella impulsen – något som jag tolkar som ett försök till att motverka de tidiga reflektionernas negativa inverkan. Därmed kan alltså min främsta forskningsfråga besvaras: Ergo förbättrade inte ljudåtergivningen i mitt lyssningsrum. De facto försämrades den av Ergos signalbehandling.

Utbudet av ljudteknik med inbyggda DRC-egenskaper har ökat märkbart under de senaste åren, och i dagens läge hittar man tekniken inbyggd i såväl referenshögtalaren för professionellt bruk, som i hembioförstärkaren för den vanliga konsumenten. Mina förväntningar på Ergos förmåga att förbättra ljudåtergivningen var därför höga. Dessutom har jag stött på många positiva recensioner av produkten i branschens tidningar. På grund av detta vill jag också poängtera vissa brister i detta examensarbete. Tillverkaren KRK säger i Ergos produktbeskrivning att teknikens inverkan på ljudåtergivningen i ett rum är ”allt från subtil till extrem” – beroende på rummets egenskaper. Det rum som mätningarna nu utfördes i var rektangulärt och så gott som omöblerat (för att lättare teoretiskt kunna definiera de akustiska förhållandena i rummet) och det hade två stora panoramafönster bakom den högra högtalaren. Vidare valdes högtalarplaceringen, och därmed *sweet spot*:en, utgående från en praktisk synvinkel, i stället för att först försöka hitta den punkt där högtalarna naturligt låter bäst i rummet. Dessutom saknades traditionell byggnadsteknisk akustikbehandling helt och hållet i rummet, något som påpekas i produktbeskrivningen på följande sätt (fri översättning): ”Ergo är inte en ersättning till traditionell akustikbehandling, snarare ett komplement till den”. För att med säkerhet kunna dra slutsatser om Ergos funktionalitet borde således testerna ha utförts i många olika typers och formers rum, i såväl akustikbehandlade som i icke-akustikbehandlade, istället för i endast ett mycket krävande lyssningsrum. En kompletterande mätning som kunde ha försäkrat att det exemplaret av Ergo som jag

hade till förfogande inte var defekt på något vis, skulle ha varit en frifältsmätning, men detta kunde jag inte genomföra i brist på den sortens mätrum.

Trots dessa brister och tillkortakommanden i mitt examensarbete kan jag ändå med säkerhet konstatera att KRK:s Ergo inte lyckades förbättra ljudåtergivningen i mitt lyssningsrum, och min tilltro till digital rumskorrigerings är ännu i skrivande stund låg. Än så länge finns det inte en digital genväg till god ljudåtergivning och akustik.

5 KÄLLFÖRTECKNING

D'Antonio, Peter *Minimizing Acoustic Distortion in Project Studios*, White paper RPG Diffusor Systems Inc. Odaterad. Tillgänglig:

http://www.rpginc.com/news/library/PS_AcD.pdf Hämtad 14.9.2011

Gerzon, Michael 1991. Digital Room Equalization *Studio Sound*. Okänt nr. Tillgänglig:

http://www.audiosignal.co.uk/Resources/Digital_room_equalisation_A4.pdf Hämtad 14.9.2011

Howard, David & Angus, Jamie 2006 *Acoustics and Psychoacoustics* 3. uppl. Oxford: Elsevier, 411 s. ISBN 0-240-51995-7

KRK Ergo manual, *ERGO Enhanced Room Geometry Optimization User Manual*.

Odaterad. Tillgänglig: <http://www.krksys.com/manuals/ergo/ergo-manual-2.3.pdf>

Hämtad: 16.9.2011

Ratcliff, John 1999. I: Talbot-Smith, Michael: *Audio engineer's reference book* 2. uppl.

Oxford: Focal Press ISBN: 0-240-51528-5

Rossing, T., Moore, R. & Wheeler, P. 2002. *The Science of Sound* 3. Uppl. San

Francisco: Addison Wesley, 783 s. ISBN 0-8053-8565-7

Wilson, Patrick 1999. I: Talbot-Smith, Michael: *Audio engineer's reference book* 2.

uppl. Oxford: Focal Press ISBN: 0-240-51528-5

6 BILAGOR

Bilaga 1. Behringer ECM8000 specifikationer

Technical Specifications

ENGLISH

Version 1.2 July 2000

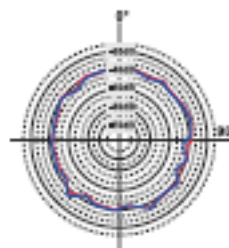
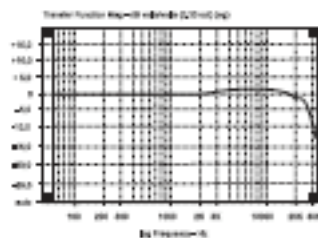
MEASUREMENT MICROPHONE

FEATURES

- ▲ Precise electret condenser measurement microphone
- ▲ Ultra-linear frequency response
- ▲ Well-balanced, true omni-directional pattern
- ▲ Optimally suited for room correction applications
- ▲ Phantom powered, +15 V to +48 V
- ▲ Rugged construction and sleek, modern design
- ▲ Microphone stand adapter and windscreen for outdoor measurement included
- ▲ Perfect for use with the ULTRA-CURVE DSP8000 / ULTRA-CURVE PRO DSP8024 or any other real-time analyzer
- ▲ Manufactured under the BEHRINGER quality control

SPECIFICATIONS

Type	electret condenser, omni-directional
Impedance	600 Ohms
Sensitivity	-60 dB
Frequency response	15 Hz to 20 kHz
Connector	gold-plated XLR
Phantom power	+15 V to +48 V
Weight	app. 120 g



Bilaga 2. Alesis M1 Active MK2 specifikationer

ENCLOSURE

MATERIALS AND CONSTRUCTION

Front baffle painted in metallic charcoal-gray, one inch (1") thick MDF with radiused edges to minimize diffraction. Sides and rear baffle covered in metallic charcoal-gray vinyl laminate, over five-eighths inch (0.625") thick MDF. Dual ports with 45° inlet and flared front baffle outlet allow precise, phase accurate woofer-to-port frequency transition. Ports also aid in cooling internally mounted primary amplifier heat sink. Flush mount, rubber woofer trim ring allows consistent power response characteristic at wide off-axis angles. Flush-mount tweeter plate assures smooth off-axis response. UL-approved fiberglass acoustical damping material damps internal midfrequency reflections from rear of woofer cone before entering port, lessening IM distortion.

TRANSDUCERS

LOW FREQUENCY DRIVER:

6.5" (165mm) diameter dynamic driver with proprietary non-woven carbon fiber (NWCF) cone and 1.5" diameter, long-wind voice coil. Dampened linear rubber surround with moderate internal damping and constant linear displacement Nomex spider. ±5 mm X-max excursion capability. Dual magnet structure uses top magnet in opposed ("bucking") configuration for magnetic shielding.

HIGH FREQUENCY DRIVER:

1" silk soft-dome tweeter with special wave guide baffle. Low-viscosity ferrofluid cooling extends power handling while retaining impulse response capability. Dual magnet structure uses top magnet in opposed ("bucking") configuration for magnetic shielding.

CROSSOVER SECTION

Crossover type: 4th-order, 24dB/octave Linkwitz-Riley @ 2000Hz
Input Impedance: 20kΩ balanced 10kΩ unbalanced
Low Frequency Filter: 4th order optimal Q high pass filter at 48Hz with +3 dB equalization

AMPLIFIER SECTION

LOW FREQUENCY AMPLIFIER

Rated power output: 75 watts, 6Ω load
Distortion: <0.02% THD @ 30 watts/8Ω 20Hz-20kHz
Slew rate: 19V/μsec
Signal-to-Noise ratio: >110dB referenced to 60 watts @ 8Ω, "A" weighted, 1kHz

HIGH FREQUENCY AMPLIFIER

Rated Power Output: 25 watts, 4Ω load
Distortion: 0.025% THD @ rated power
Slew rate: 9V/μsec
Signal-to-Noise ratio: >112dB @ rated output

ACOUSTIC SECTION

Free-Field Frequency Response: ±2dB, 50Hz to 20KHz
Lower Cutoff Frequency: 40Hz -10dB
Upper Cutoff Frequency: 23.5KHz -10dB
Maximum Peak SPL per pair: ≥ 118dB SPL @ 1m
Maximum short term SPL: 80Hz to 3.0KHz ≥ 105dB SPL @ 1m

GENERAL

Power Consumption: 120 watts with musical program, loud mix
12 watts quiescent (idle)
AC Dropout Voltage: 120V AC version: 80V AC
240V AC versions: 160V AC
Weight: 19.5 lbs. (8.9 kg) each

Dimensions (H x W x D): 15" (38.1 cm) x 8.5" (21.6 cm) x 10" (25.3 cm)

Bilaga 3. Tapco SW-10 specifikationer

Appendix C: SW•10 Specifications

Acoustic Performance

Free Field Frequency Response:
 34 Hz – 110 Hz (± 3 dB)
 Lower Cutoff Frequency: -3 dB @ 34 Hz
 Upper Cutoff Frequency: -3 dB @ 110 Hz
 Maximum SPL @ 1 meter, 7.5 dBu into both
 Balanced Inputs: 103 dB SPL @ 1m

Transducer

Low Frequency Driver:
 10 in/254 mm woofer with steel frame,
 dual voice coil, and paper cone

Amplifiers

Rated Power: 120 watts rms into a 4 ohm load
 (60 watts rms x 2)
 Burst Power: 270 watts rms into a 4 ohm load
 (135 watts rms x 2)
 Slew Rate: > 15 V/ μ s
 Distortion (THD, SMPTE IMD, DIM 100):
 < 0.03%
 Signal-to-Noise Ratio:
 > 110 dB, 20 Hz to 20 kHz,
 A-weighted, referenced to 60 watts
 into 4 ohms
 Type: Monolithic IC, Class AB

Electronic Crossover

Crossover Type: 24 dB/octave Linkwitz-Riley
 Crossover Frequency: Variable, 55 Hz to 110 Hz
 Input Impedance: 20 k Ω , balanced bridging;
 10 k Ω unbalanced

AC Power Requirements

US: 120 VAC, 60 Hz
 Europe: 240 VAC, 50 Hz
 Korea (AC Power Select at 230 V):
 220 VAC, 60 Hz
 Japan (AC Power Select at 115 V):
 100 VAC, 50/60 Hz
 AC Connector: 2-pin IEC 250 VAC, 16 A male
 Fuse: 115 VAC: T 1.6 A/250 V
 230 VAC: T 800 mA/250 V
 *Power Consumption: 80 watts with music, loud mix
 20 watts quiescent (idle)

Physical Dimensions and Weight

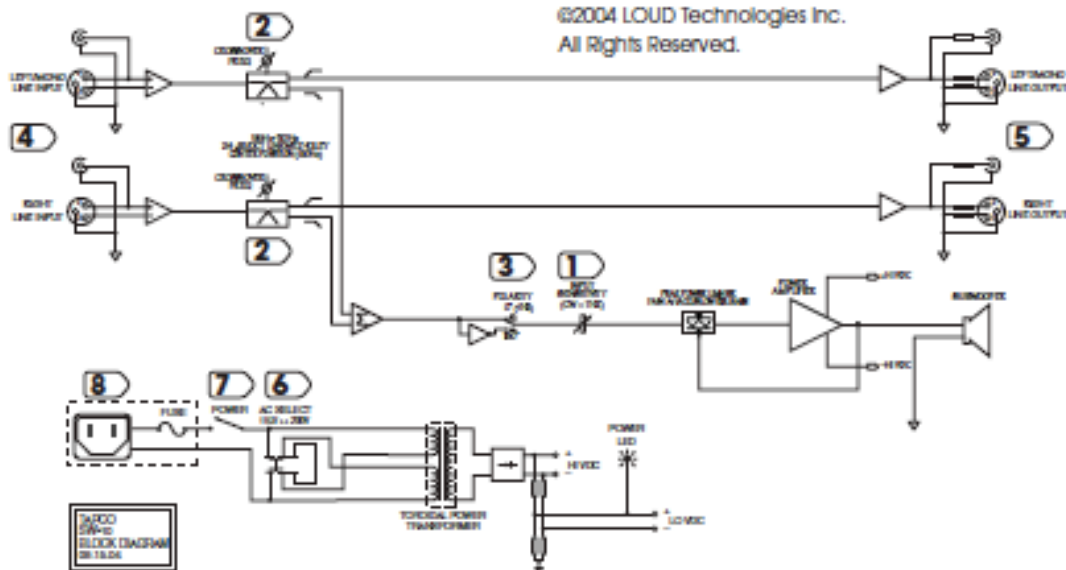
Enclosure: 0.625 in/16 mm thick MDF
 Damping: Adiabatic fiberfill
 Dimensions:
 Height: 11.8 in/300 mm
 12.3 in/312 mm w/feet
 Width: 12.0 in/295 mm
 Depth: 12.4 in/315 mm
 Weight: 28 lb/12.7 kg

Disclaimer

Since we are always striving to make our products better by incorporating new and improved materials, components, and manufacturing methods, we reserve the right to change these specifications at any time without notice.

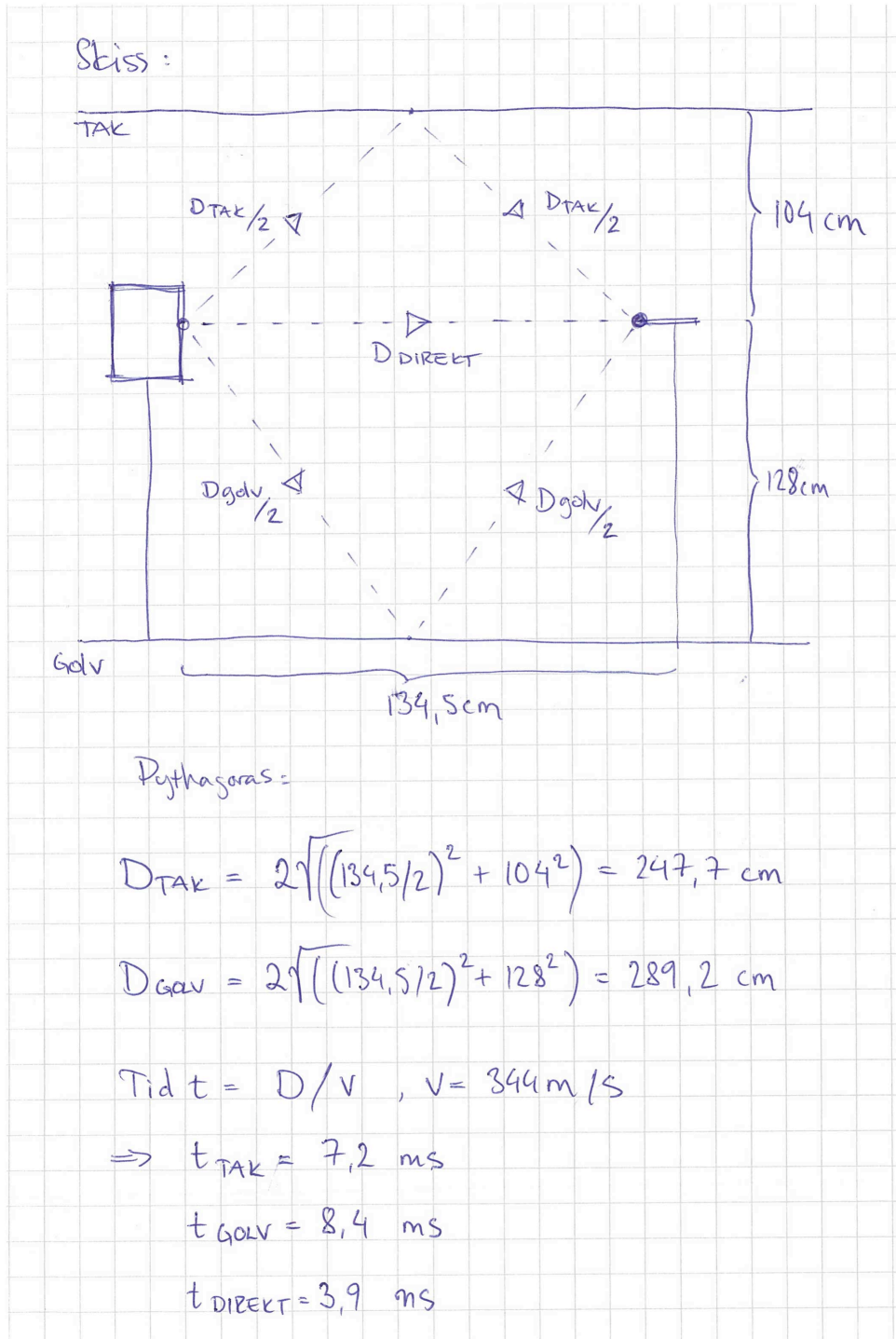
"Mackie." and "TAPCO" are registered trademarks of LOUD Technologies Inc. All other brand names mentioned are trademarks or registered trademarks of their respective holders, and are hereby acknowledged.

SW•10 Block Diagram

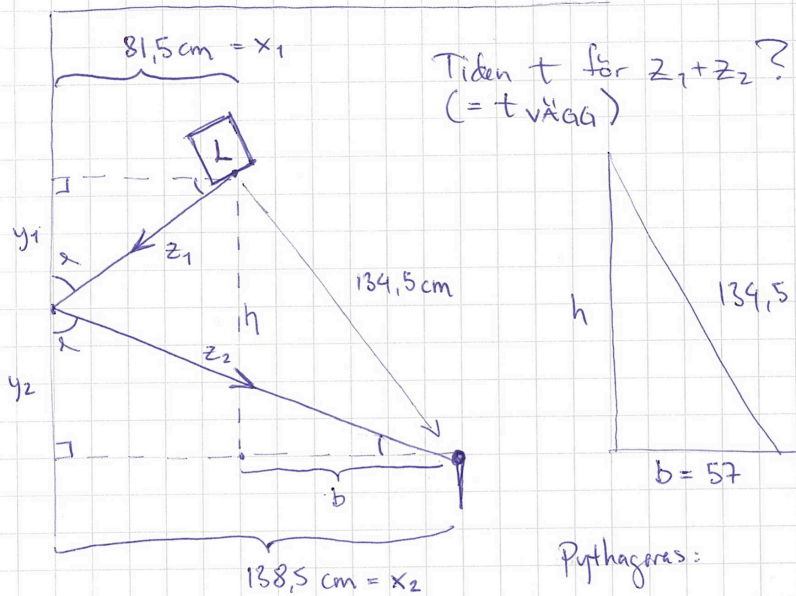


©2004 LOUD Technologies Inc.
 All Rights Reserved.

Bilaga 4. Tidiga reflektioner i lyssningsrummet



Skiss:



Pythagoras:

$$134,5^2 = h^2 + 57^2$$

$$h = \sqrt{134,5^2 - 57^2}$$

$$b = x_2 - x_1, \quad h = y_1 + y_2 \Rightarrow y_1 = h - y_2$$

$$\frac{x_1}{y_1} = \frac{x_2}{y_2} \Rightarrow y_1 x_2 = y_2 x_1$$

$$y_1 = \frac{y_2 x_1}{x_2}$$

$$h - y_2 = \frac{y_2 x_1}{x_2}$$

$$x_2(h - y_2) = y_2 x_1 \Rightarrow y_2 = \frac{x_2 h}{(x_1 + x_2)}$$

$$y_2 = \frac{138,5 \sqrt{134,5^2 - 57^2}}{(81,5 + 138,5)}$$

$$y_2 = 76,7 \text{ cm}$$

forts...

... forts. $\frac{x_1}{y_1} = \frac{x_2}{y_2} \Rightarrow y_1 = \frac{x_1}{(x_2/y_2)}$

$$y_1 = 81,5 / (138,5 / 76,7) = 45,1$$

$$z_1 = \sqrt{(x_1^2 + y_1^2)}$$

$$z_2 = \sqrt{(x_2^2 + y_2^2)}$$

$$z_{\text{tot}} = \sqrt{(81,5^2 + 45,1^2)} + \sqrt{(138,5^2 + 76,7^2)}$$

$$t = \frac{z_{\text{tot}} (/100)}{344 \text{ m/s}} = 0,0073 \text{ s} = 7,3 \text{ ms.}$$

$$t_{\text{v\u00e4gg}} = 7,3 \text{ ms}$$