

En jämförelse mellan naturlig rumsklang och dess artificiella motsvarigheter

Niklas Finnäs

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Informations- och medieteknik
Identifikationsnummer:	5657
Författare:	Niklas Finnäs
Arbetets namn:	En jämförelse mellan naturlig rumsklang och dess artificiella motsvarigheter
Handledare (Arcada):	Johnny Biström, Oskar Skaag
Uppdragsgivare:	Fristående
Sammandrag:	<p>Arbetets utgångspunkt är att jämföra det naturliga med det artificiella. Inspelningar gjorda i Musikhusets orgelsal Organo i Helsingfors jämförs med ljudklipp som tillsätts digital artificiell rumsklang baserad på ett impulssvar inspelat i samma sal. Syftet är att ta reda på hur nära man kommer ett naturligt sound med dagens digitala teknik och samtidigt svara på tre stycken frågor som ställs i inledning av arbetet:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kan ett digitalt reverb låta naturligt? • Var ligger skillnaderna mellan det naturliga och det artificiella? • Vad ger olika typer av reverb dess specifika karaktär? <p>I arbetet undersöks också hur den naturliga akustiken i ett rum påverkar inspelningarna och hur den digitala tekniken runt ett konvolutionsreverb fungerar. Utöver detta finns också ett kapitel som behandlar reverbens historia i inspelningssammanhang.</p>
Nyckelord:	Rumsklang, efterklang, reverb, naturlig, artificiell, akustik, plåtreverb, fjäderreverb, ekokammare, digitala reverb, analog elektronik, digital elektronik, impulssvar, konvolution, signalbehandling, DSP, algoritm, ekvalisering, eq, Musikhuset, Organo, Helsingfors, Abbey Road, EMT.
Sidantal:	48
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	11.05.2016

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Information and media technology
Identification number:	5657
Author:	Niklas Finnäs
Author:	A comparison between natural reverberation and its artificial counterparts
Supervisor (Arcada):	Johnny Biström, Oskar Skaag
Commissioned by:	Independent
Abstract:	<p>This paper is based on a comparison between the natural and the artificial. Recordings made in Helsinki Music Centres organ hall, Organo, are compared to audio clips to which are added digital artificial reverberation based on an impulse response recorded in the same hall. The purpose is to find out how close to a natural sound you can get with todays digital technology and at the same time answer three questions asked at the beginning of the paper:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Can a digital reverb sound natural? • Where are the differences between the natural and the artificial? • What gives different types of reverbs their specific characteristics? <p>Investigations into how the natural reverberation in a room affects the recordings and how the technology surrounding a convolution reverb works are conducted. In addition, there is also a chapter in which the history of reverbs in a recording context is discussed.</p>
Keywords:	Reverberation, reverb, natural, artificial, acoustics, plate reverb, spring reverb, echo chamber, digital reverbs, analog electronics, digital electronics, impulse response, convolution, signal processing, DSP, algorithm, equalisation, eq, Helsinki Music Centre, Organo, Abbey Road, EMT.
Number of pages:	48
Language:	Swedish
Date of acceptance:	11.05.2016

INNEHÅLL

1	Introduktion	7
1.1	Syfte	8
1.2	Mål	8
1.3	Frågeställningar	8
1.4	Tillvägagångssätt	8
1.5	Utrustning	9
1.6	Avgränsningar	9
2	Naturlig rumsklang	10
2.1	Reflektioner	10
2.2	Efterklangstid	10
2.3	Absorption	11
2.4	Beräkningar	12
2.5	God akustik	12
2.6	Begrepp	13
3	Artificiell rumsklang	14
3.1	Konvolutionsreverb	14
3.1.1	<i>Sinussvep</i>	15
3.1.2	<i>Alternativa metoder</i>	15
3.2	Övriga digitala reverb	15
3.3	Analoga reverb	16
3.3.1	<i>Fjäderreverb</i>	16
3.3.2	<i>Plåtreverb</i>	17
3.4	Ekokammare	17
4	Digital signalbehandling	21
4.1	Begrepp inom DSP	21
4.2	Diskret Fouriertransform (DFT)	22
4.3	Snabb Fouriertransform (FFT)	22
4.4	Sampling	23

5	Inspelningar	25
5.1	Inspelning av ljudklipp	25
5.1.1	<i>Studio</i>	25
5.1.2	<i>Mikrofon</i>	25
5.1.3	<i>Virveltrumma</i>	25
5.1.4	<i>Sång</i>	26
5.2	Musikhuset	26
5.2.1	<i>Organo</i>	27
5.2.2	<i>Sinussvep och ljudklipp</i>	27
6	Resultat	28
6.1	Ekvalisering	28
6.1.1	<i>Ekvalisering sång</i>	28
6.1.2	<i>Ekvalisering virveltrumma</i>	29
6.2	Frekvensanalys	30
6.2.1	<i>Paz Analyzer</i>	30
6.2.2	<i>Frekvensspektrum sång</i>	31
6.2.3	<i>Stereobild sång</i>	34
6.2.4	<i>Frekvensspektrum virveltrumma</i>	35
6.2.5	<i>Stereobild virveltrumma</i>	38
6.3	Vågformsanalys	39
6.3.1	<i>Vågformsanalys sång</i>	39
6.3.2	<i>Vågformsanalys virveltrumma</i>	43
7	Slutsats	46
	Källor	47

Figurer

Figur 1. Direkt ljud och tidiga reflektioner.....	10
Figur 2. Avtagande av ljudtryck och ljudnivå i sal och auditorium.....	11
Figur 3. Önskvärda efterklangstider enligt salens storlek och användningsområde.....	12
Figur 4. Variation i efterklangstiden i en 'bra' konsertsal.....	13
Figur 5. Ekokammare nr 1 vid Abbey Road.....	19
Figur 6. Ekokammare nr 2.....	19
Figur 7. Ekokammare nr 3.....	20
Figur 8. Helmholtz resonator.....	20
Figur 9. Frekvenssvar. Trumpet med Harmo sordin.....	24
Figur 10. Frekvenssvar. Neumann U47.....	25
Figur 11. Organo.....	27
Figur 12. EQ-kurvor. Sång.....	29
Figur 13. EQ-kurvor. Virvel.....	29
Figur 14. Inställningar. Paz Analyzer. Frekvensspektrum.....	30
Figur 15 Exempel.....	33
Figur 16. Sång, 'Torr'. Ljudtryck. RMS.....	33
Figur 17. Sång, Organo. Ljudtryck. RMS.....	33
Figur 18. Sång, Altiverb. Ljudtryck. RMS.....	33
Figur 19. Sång, 'Torr'. Ljudtryck. Peak.....	34
Figur 20. Sång, Organo. Ljudtryck. Peak.....	34
Figur 21. Sång, Altiverb. Ljudtryck. Peak.....	34
Figur 22. Inställningar. Paz Analyzer. Stereobild.....	35
Figur 23. Sång, Organo. Stereobild. RMS.....	35
Figur 24. Sång, Altiverb. Stereobild. RMS.....	35
Figur 25. Sång, Organo. Stereobild. Peak.....	36
Figur 26. Sång, Altiverb. Stereobild. Peak.....	36
Figur 27. Virvel, 'Torr'. Ljudtryck. RMS.....	37
Figur 28. Virvel, Organo. Ljudtryck. RMS.....	37
Figur 29. Virvel, Altiverb. Ljudtryck. RMS.....	37
Figur 30. Virvel, 'Torr'. Ljudtryck. Peak.....	38
Figur 31. Virvel, Organo. Ljudtryck. Peak.....	38

Figur 32. Virvel, Altiverb. Ljudtryck. Peak.....	38
Figur 33. Virvel, Organo. Stereobild. RMS.....	39
Figur 34. Virvel, Altiverb. Stereobild. RMS	39
Figur 35. Virvel, Organo. Stereobild. Peak	39
Figur 36. Virvel, Altiverb. Stereobild. Peak	39
Figur 37. Sång, Organo. Vågform	40
Figur 38. Sång, Altiverb. Vågform	41
Figur 39. Sång, Organo. Vågform, grupp 7	42
Figur 40. Sång, Altiverb. Vågform, grupp 7.....	42
Figur 41. Sång, Organo. Vågform, grupp 7. Förstoring	43
Figur 42. Sång, Altiverb. Vågform, grupp 7. Förstoring	43
Figur 43. Virvel, Organo. Vågform	44
Figur 44. Virvel, Altiverb. Vågform.....	44
Figur 45. Virvel, Organo. Vågform. Förstoring.....	45
Figur 46. Virvel, Altiverb. Vågform. Förstoring	45
Figur 47. Virvel, Organo. Vågform. Ytterligare förstoring	46
Figur 48. Virvel, Altiverb. Vågform. Ytterligare förstoring.....	46

Tabeller

Tabell 1. Frekvenssvar. Olika instrument med och utan högre harmonier.....	25
--	----

FÖRORD

Tack till Johnny Biström för handledning under skrivandet, Oskar Skaag för expertråd och hjälp vid inspelningarna, Jon-Patrik Kuhlefeldt och Mikko Ingman på Sibelius Akademin. Fredrik Lundin. Charlotta Kerbs för sången och min sambo Lotta.

1 INTRODUKTION

Hur rum klingar olika har alltid fascinerat mig. Beroende på rummets storlek, form, byggnadsmaterial och var man placerar en ljudkälla kan man ge en extra dimension till ett instrument, en röst eller få inspelad musik att komma till liv på ett nytt sätt. Hur man på artificiell väg kan återskapa denna effekt i en studio är minst lika intressant.

Artificiella rumsklanger har haft en stor inverkan på inspelad musik och har gått från att vara en praktisk lösning till en central del av musikproduktionen som har påverkat alla lyssnares upplevelse i över 50 år. 'Soundet' på en skiva kan inte enbart tillskrivas musikerna, ljudteknikern(a) och inspelningsutrymmet, utan är också ett resultat av vilken teknisk utrustning som funnits tillgänglig just då när skivan spelades in, mixades och mastrades. De olika reverbens förmåga att påverka en hel mix i motsats till andra effekter som oftast får mindre utrymme är också en orsak till varför jag valt att fokusera på detta område i arbetet.

Jag har valt att gräva djupare i akustik och olika typer av reverb för att utöka min förståelse för rumsklanger, både den naturliga efterklngen som uppstår i ett fysiskt utrymme när en ljudkälla introduceras och den artificiella efterklngen som är resultatet av olika försök att efterlikna detta fenomen. Min kunskap har hittills varit till största del praktiskt orienterad och jag hoppas genom detta arbete kunna fördjupa mig i den tekniska och teoretiska biten för att få en bättre förståelse för hur akustik och olika typer av reverb fungerar och samtidigt lära mig något som jag senare har användning för i praktiken.

Arbetet består av några kapitel teori om akustik och signalbehandling och ett kapitel som behandlar olika typer av reverb ur ett tekniskt och historiskt perspektiv. Det hela följs upp av en praktisk jämförelse mellan inspelningar gjorda i en konsertsal och ett digitalt konvolutionsreverb gjort med hjälp av impulssvaret från samma sal.

1.1 Syfte

Syftet med undersökningen är att jämföra det artificiella med det naturliga. Med hjälp av inspelningar gjorda i orgelsalen Organo i Musikhuset ställs ett digitalt konvolutionsreverb gjort med hjälp av ett impulssvar inspelat i salen mot dess naturliga efterklang i olika tester och analyser.

1.2 Mål

Målet är att ta reda på hur nära ett naturligt 'sound' man kommer med ett artificiellt reverb. Jag kommer att undersöka var de största skillnaderna mellan det naturliga och digitala ligger och samtidigt förklara tekniken och teorin bakom olika typer av digitala och analoga reverb för att ta reda på varifrån deras individuella karaktärer kommer.

1.3 Frågeställningar

- Kan ett digitalt reverb låta naturligt?
- Var ligger skillnaderna mellan det naturliga och det artificiella?
- Vad ger olika typer av reverb dess specifika karaktär?

1.4 Tillvägagångssätt

I det första skedet har två stycken 'torra' ljudklipp spelats in i en studio. En inspelning med ett enskilt virvelslag och en längre sånginspelning med varierande dynamik och frasering.

I det andra skedet spelas ljudklippen och ett sinussvep i tur och ordning upp genom en högtalare och fångas av ett mikrofonpar som placerats mitt i salen.

I det tredje skedet sätts inspelningen med sinussvepet in i Altiverb som processerar informationen och gör ett digitalt reverb baserat på efterklngen i salen. De 'torra' ljudklippen konvolteras med den artificiella rumsklngen och jämförs med inspelningarna med den naturliga efterklngen.

1.5 Utrustning

Arcadas studio

Neumann U47

SSL AWS 948

Pro Tools

Focusrite Rednet

Genelec 1037C

Stereotype Studios

Pro Tools

Audio Ease Altiverb 7

Pro Tools Audio Suite Gain

Brainworx bx_digital V2

Egengjorda högtalare

Hemmastudio

Logic Pro X

Universal Audio Apollo Twin

Yamaha HS 7

Waves Paz Analyzer

Waves WLM Loudness Meter

Organo

Olympus LS-1

Apple Macbook Pro

Genelec 1037C

Sennheiser MKH20 x 2

Sound Devices 702

Mikrofonstativ

Stereobrygga

Stativarmar

1.6 Avgränsningar

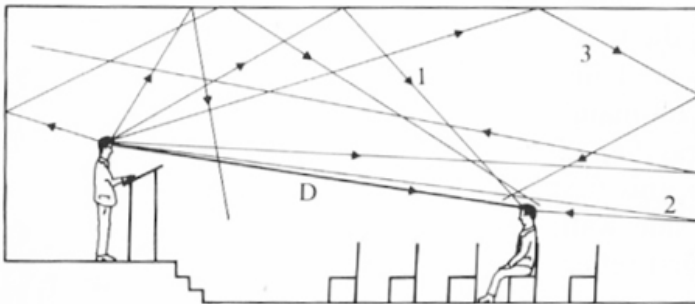
Trots frestelsen att göra en bredare undersökning med praktiska jämförelser mellan olika utrymmen och olika typer av reverb tvingas jag på grund av tidsbrist avgränsa arbetet till det som beskrivits ovan.

2 NATURLIG RUMSKLANG

*Detta kapitel baserar sig på boken *The Science of Sound* (kapitel 23), skriven av Thomas D. Rossing, utgiven år 1990 (andra upplagan).*

2.1 Reflektioner

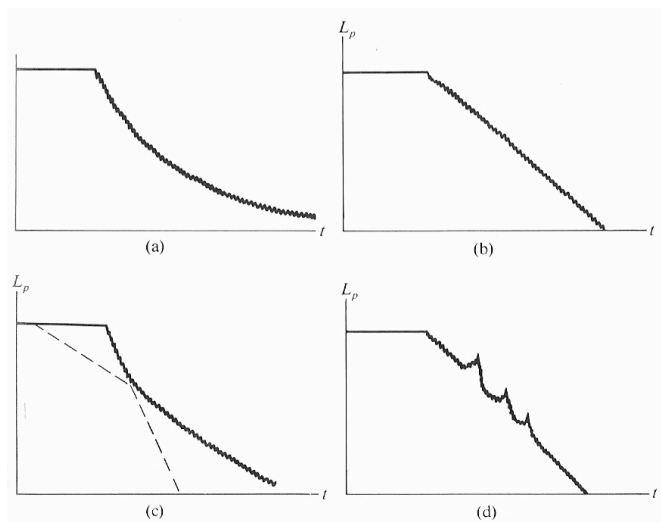
Ljudvågor har en hastighet på 344 m/s. I en normalstor konsertsal betyder detta att det direkta ljudet från källan når lyssnaren efter 0,02 till 0,2 sekunder (20 ms – 200 ms). Den första gruppen av reflektioner (tidiga) reflekteras i huvudsak från väggar och tak och når lyssnaren ungefär 50 ms efter det direkta ljudet. Efter den första gruppen reflektioner överöses lyssnaren av täta reflektioner från alla håll som sedan övergår i det som kallas rumsklang/efterklang. Om källan ger ut ett ihållande ljud växer efterklangen tills den når en balanserad nivå (beroende på salens konstruktion). När ljudet från källan tar slut avtar efterklangsnivån i en mer eller mindre konstant hastighet tills den når ohörbarhet.



Figur 1. D representerar det direkta ljudet och siffrorna 1,2,3... är tidiga reflektioner (Rossing s.464)

2.2 Efterklangstid

Efterklangstiden beräknas utifrån hur länge det tar för ljudnivån (det direkta ljudet) att minska med 60 dB. Hur snabbt efterklangsnivån sjunker i början spelar en stor roll i hur lång efterklangstiden upplevs vara. Den optimala efterklangstiden varierar beroende på rummets tänkta användningsområde och är en kombination mellan klarhet, vilket kräver kort efterklangstid; intensitet, vilket kräver en hög efterklangsnivå; och livlighet, vilket kräver lång efterklangstid.



Figur 2. Figur (a) och (b) visar hur ljudtrycket och ljudnivån avtar i en sal där fördelningen av energin är jämn. (c) och (d) är kurvor som ofta observeras i auditorium; (c) visar olika långa efterklangstider i början och slutet; (d) visar stående vågor (Rossing s. 465)

2.3 Absorption

Den totala absorptionen i ett rum beräknas genom att addera absorptionskoefficienterna vid olika frekvenser för alla ytor som exponeras för ljudet i fråga. Absorptionen mäts på en skala från 0 till 1, ett material som absorberar allt ljud som träffar dess yta tilldelas koefficienten $a = 1$. Ett omålat betongblock har t.ex. absorptionskoefficienten 0,31 vid 500 Hz. Den totala absorptionen för en hel betongvägg ges med formeln $A = Sa$, där S är väggens yta i m^2 .

Förutom väggar, tak och golv står inredningen för en betydande del av absorptionen. En tom konsertsal har en mycket längre efterklangstid än en fullt inredd sal. En tom inklädd stol har en absorptionskoefficient 0,43 vid 2000 Hz, sätter sig någon i stolen stiger koefficienten till 0,64.

I en större sal bör man också räkna med luftens förmåga att absorbera ljud vid höga frekvenser. Absorptionsförmågan beräknas med formeln mV som står i proportion till volymen. Konstanten m är relativ till temperatur och luftfuktighet. Vid 20°C och en luftfuktighet på 30 % är $m = 0,012$ vid 2000 Hz.

2.4 Beräkningar

I en sal med måtten 20 m • 15 m • 8 m och 200 platser fyllda till hälften med publik beräknas efterklangstiden vid 2000 Hz enligt följande modell:

Väggar: $A_1 = (2 \cdot 15 \cdot 8 + 2 \cdot 20 \cdot 8) (0,09) = 50;$

Tak: $A_2 = (15 \cdot 20) (0,04) = 12;$

Golv: $A_3 = (15 \cdot 20) (0,60) = 180;$

Tomma stolar: $A_4 = (100) (0,43) = 43;$

Fyllda stolar: $A_5 = (100) (0,64) = 64;$

Absorption, luft: $mV = (0,012) (2400) = 29;$

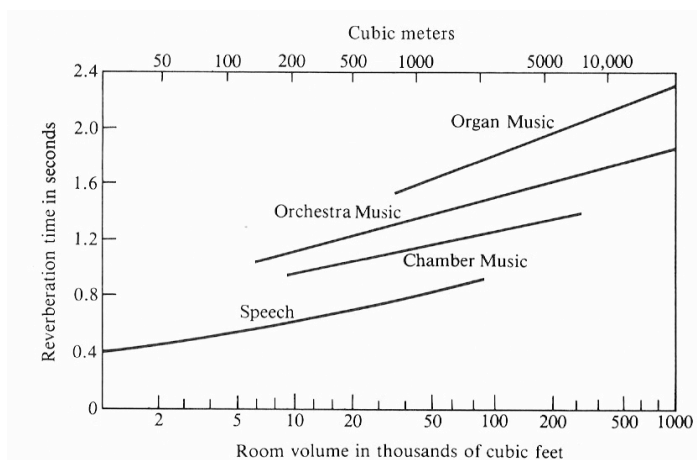
$$A = 50 + 12 + 180 + 43 + 64 + 29 = 378 \text{ m}^2;$$

$$V = 20 \cdot 15 \cdot 8 = 2400 \text{ m}^3;$$

$$RT = 0,161 \cdot V/A = (0,161)(2400)/(378) = 1,02 \text{ s.} \quad (\text{Där konstanten } K = 0,161 \text{ s/m})$$

2.5 God akustik

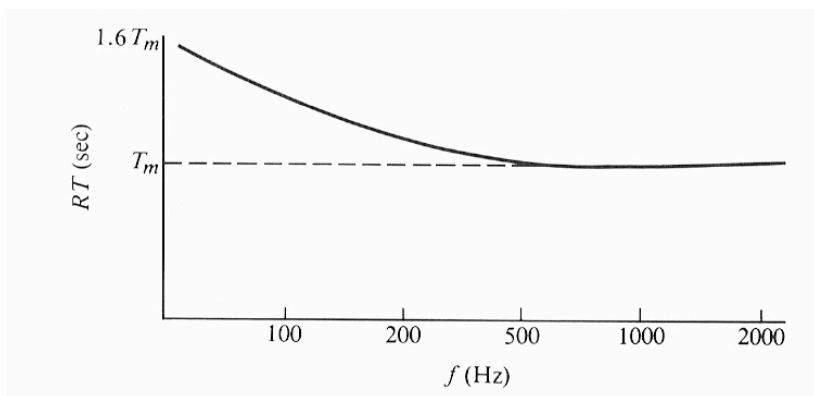
Tal behöver en kortare efterklangstid och musik en längre. Klassisk musik kräver en helt annan karaktär på efterklangen än Rock. För att det direkta ljudet inte skall drunkna behövs klarhet, vilket uppnås genom att nivån av direkt ljud tillsammans med de tidiga reflektionerna alltid är större än efterklangen i hela salen. Spridningen av ljudet bör vara jämn och nå ända bak i salen, fokusering och ljudskuggor bör undvikas.



Figur 3. Önskvärda efterklangstider enligt salens storlek för tal och olika typer av klassisk musik (Rossing s. 469)

2.6 Begrepp

En rad olika begrepp används för att beskriva olika akustiska fenomen. 'Värme' upplevs när efterklangstiden i det låga registret, från 250 Hz och nedåt, är något längre än i övriga register. En sal med otillräcklig efterklangstid klassas som 'torr', efterklangstiden vid 500 Hz är en bra indikator på detta fenomen. En tillräckligt lång efterklangstid vid 500 Hz ger stöd åt bastoner och gör att salen känns 'levande'. En känsla av 'intimitet' uppnås när tiden mellan det direkta ljudet och de första reflektionerna är mindre än 20 ms.



Figur 4. Variation i efterklangstiden i en 'bra' konsertsal (Rossing s. 469)

3 ARTIFICIELL RUMSKLANG

Genom närmickning i en studiomiljö minimeras efterklngen vilket ger större möjligheter att forma ljudet i efterhand, samtidigt försvinner den känsla av rymd som är en viktig del i hur slutprodukten uppfattas av lyssnaren.

För att återskapa denna känsla använder man sig av artificiella rumsklanger; i pop- och rockmusik använder man sig ofta av reverb på ett mera kreativt sätt med utgångspunkten att skapa ett 'sound' medan man inom jazz eller klassisk musik ofta försöker återskapa en viss typ av miljö på ett mera verklighetstroget sätt.

Ekokammaren och uppfinningar som spring- och plate-reverben från 30- respektive 50-talet var början på detta tankesätt. I och med digitaliseringen av musikindustrin med början under 70-talet har vi gått vidare från den analoga tekniken via digitala hårdvaru-enheter till dagens insticksmoduler baserade på matematiska algoritmer.

3.1 Konvolutionsreverb

Konvolution (veck, faltning, sammanrullning). I svenska akademins ordlista finns ordet konvolut = (stort) kuvert eller omslag. I matematiska sammanhang beskriver det engelska ordet *convolution* en integral som uttrycker hur mycket funktionen $g(t)$ överlappar funktionen $f(t)$ när de möts, ett möte som ger upphov till en tredje funktion $(f \cdot g)(t)$.

Ett konvolutionsreverb fungerar på samma sätt. En insignal kombineras med ett impuls-svar vilket ger upphov till en utsignal. För att impulssvaret skall kunna sättas ihop med insignalen måste den spjälkas upp i mindre bitar (sampel). Enskilda sampel från impulssvaret kombineras sedan med varje sampel från ljudsignalen.

Med en samplingsfrekvens på 44,1 kHz betyder detta 44 100 kombinationer i sekunden. En process som kräver relativt hög datorprestanda; den första insticksmodulen som klarade av detta var Altiverb som släpptes år 2001 (Audio Ease(a). 2006).

3.1.1 Sinussvep

För att framkalla ett användbart impulssvar krävs en mätning av utrymmet i fråga. Standarden sedan år 2000 har varit att använda sig av ett sinussvep som med en jämn amplitud sveper genom alla frekvenser inom ett förvalt område (Välimäki m.fl. 2012 s. 15). På så sätt får svepet rummet att reagera på varje enskilda frekvens.

Sinussvepet som har använts i detta arbete har hämtats från audioease.com (Audio Ease(b). 2015). Svepet har en samplingsfrekvens på 44,1 kHz och den maximala reverbtiden är 16 sekunder.

3.1.2 Alternativa metoder

Före sinussvepets popularitet använde man sig av Maximum-Length Sequence (MLS) metoden som baserade sig på en pseudo-slumpmässig ljudsekvens. Sinussvepet tog över när man konstaterade att signal-brusförhållandet är 15 – 20 dB högre under goda mätförhållanden där bakgrundsbruset är lågt. I en omgivning med mycket bakgrundsbrus kan däremot MLS tekniken fortfarande vara användbar. Andra sätt har bl.a. varit att skjuta en startpistol, slå en klappa eller klappa i händerna och smälla en ballong. Alla tekniker har sina brister, så som snävt frekvensomfång, låg volym, praktiska begränsningar och producerar därför inte ett resultat av samma kvalitet som sinussvepet. (Välimäki m.fl. 2012 s. 15)

3.2 Övriga digitala reverb

Digitala reverb blev kommersiellt tillgängliga 1976 i och med EMT 250. De tidiga digitala reverben byggde på algoritmer som simulerar naturlig rumsklang genom att i första hand återskapa de tidiga reflektionerna med hjälp av ekon med kort fördröjning.

För att simulera själva efterklngen använde man sig av finjusterade s.k. ‘re-circulating filters’, vilka ofta var en kombination av kamfilter som adderar en fördröjd signal till den ursprungliga signalen och ‘all-pass’ filter som varierar fasen mellan olika frekvenser. (White. 2006)

Alla tillverkare hade sina egna sätt att designa reverb algoritmer på (White. 2006). Vilket gjorde att reverb av t.ex. EMT, Lexicon och AMS alla har sin egna distinkta karaktär i förhållande till varandra. Karaktären var ofta väldigt olik hur ett riktigt rum (låter) betar sig i verkligheten, men desto mera musikalisk istället (White. 2006). Något som gjorde att de smälte bra in i mixen och bidrog till att skapa ett sound som blivit en del av musikhistorien. Reverb av den här typen är fortfarande väldigt populära trots att dagens teknik gör det möjligt att skapa mera verklighetstroga artificiella rumsklanger.

3.3 Analoga reverb

3.3.1 Fjäderreverb

Det första analoga reverbet utvecklades på 1930-talet av Bell Labs tillsammans med Laurens Hammond. Den ursprungliga idén anses ha uppstått av ett misstag när man försökte skapa specialeffekter för radio genom att hänga en metall fjäder från tonhuvudet på en grammofon och skaka den för att framkalla ett åskliknande ljud. Genom att installera en omvandlare (högtalare) i ena änden märkte man att ljud som rör sig längs med fjädern tillfogas en efterklangliknande kvalitet. (White. 2006)

Fjäderreverbet blev kommersiellt tillgängligt år 1939 som en del av Hammondorgelns Tone Cabinet vilket var en separat konstruktion som innehöll reverbet och en roterande högtalare, känd under namnet Leslie. När man på Bell Labs år 1960 utvecklade en förbättrad version av originaldesignen lyckades man fånga uppmärksamheten hos Leo Fender som implementerade tekniken i sina Fender-gitarrförstärkare. (Accutronics. 2016). Sedan dess har fjäderreverbet främst varit synonymt med elgitarren och är fortfarande i användning i dag.

Fjäderreverbet passar väldigt bra i gitarrförstärkare och Hammondorglar, effekten fungerade också relativt bra på sång. På rytmiska ljudkällor i synnerhet är reverbet däremot inte alls användbart, främst på grund av att ljudet studsar fram och tillbaka längs med fjädern vilket ger upphov till en svajande och pulserande efterklang (White. 2006).

3.3.2 Plåtreverb

Det var först i och med plåtreverbet som artificiella reverb blev populära i en större skala. Som namnet antyder bygger tekniken på användandet av en tunn metallplåt som sätts i vibration genom att ljud introduceras via en omvandlare på samma sätt som hos fjäderreverbet. (Menhorn. 2012). Konstruktionen var i det större laget, det första plåtreverbet EMT 140 som introducerades år 1957 var över 2 m långt, 1 m högt och vägde över 250 kg (Menhorn. 2012), (EMT 140 Schematics. 2016).

Plåtreverbet producerar en komplex efterklang som motsvarar den naturliga efterklangen hos ett fysiskt utrymme. Skillnaden ligger i hur de tidiga reflektionerna uppfattas av lyssnaren. Reverbet producerar i motsats till ett rum inga klart urskiljbara tidiga reflektioner, istället uppstår ett väldigt kompakt sound som bättre motsvarar den egentliga efterklangen i en verklig situation. (White. 2006)

Eftersom de tidiga reflektionerna är väldigt viktiga i hur vi uppfattar ett rums karaktär gör deras frånvaro att plåtreverbet inte klart antyder någon speciell typ av akustiskt utrymme (White. 2006). Plåtreverbets ambivalenta karaktär är dess styrka eftersom man ofta tenderar använda reverb mera som en effekt än en ett försök att imitera en specifik typ av sal eller utrymme (beroende på typen av musik).

Både fjäder- och plåtreverbet är fortfarande i flitig användning än i dag. Fjäderreverbets användningsområde är aningen begränsat men byggs fortfarande in i nya gitarrförstärkare. Plåtreverbet har alltid varit främst en studioenhet men digitala emulationer har gjort att spridningen i dag blivit betydligt större.

3.4 Ekokammare

Behovet av artificiell rumsklang uppstod som en följd av "HIFI-boomen" i början av 50-talet. När man började spela in musik elektroniskt i mitten av 20-talet gjorde man ofta detta med mobil utrustning i konsertsalar, kyrkor och andra utrymmen som hade en efterklang man tyckte om. Efter påtryckningar från Jukebox-industrin började man på 1930-talet göra inspelningar i 'torrare' miljöer (inspelningsstudior) där efterklangen var

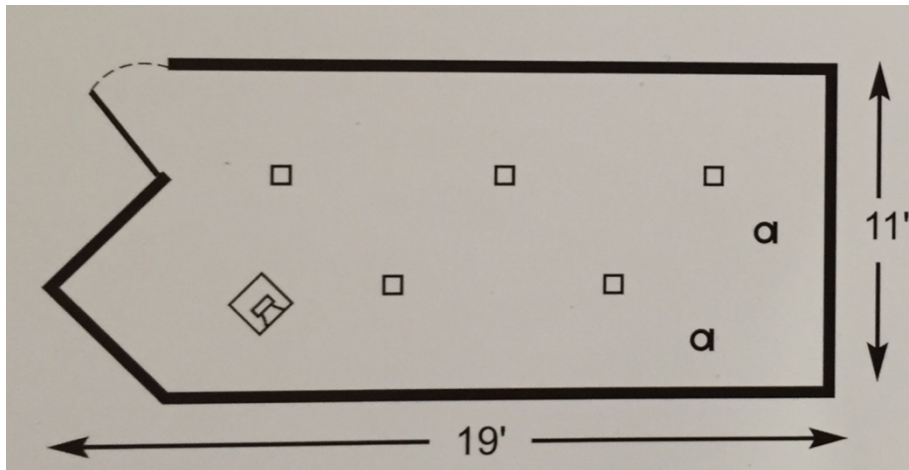
minimerad. Orsaken till detta var att tekniken i Jukeboxar:na inte var den bästa vilket gjorde det svårt att urskilja vad som hände i musiken om den var inspelad med för mycket rumsklang (Shanks. 2010).

Resten av delkapitel 3.4 är baserat på boken Recording The Beatles, skriven av Kevin Ryan och Brian Kehew, utgiven år 2006.

Allt eftersom inspelningstekniken och ljudåtergivningssystemen blev bättre började man röra sig bort från de torra inspelningarna som definierade swing-era:n mot ett mera naturligt sound. I USA började man experimentera med att bygga om rum till specialiserade ekokammare i vilka man placerade en högtalare och en mikrofon. Genom att skicka en separat signal genom ekokammaren kunde man modifiera efterklangen och fritt kontrollera mängden på sin inspelning.

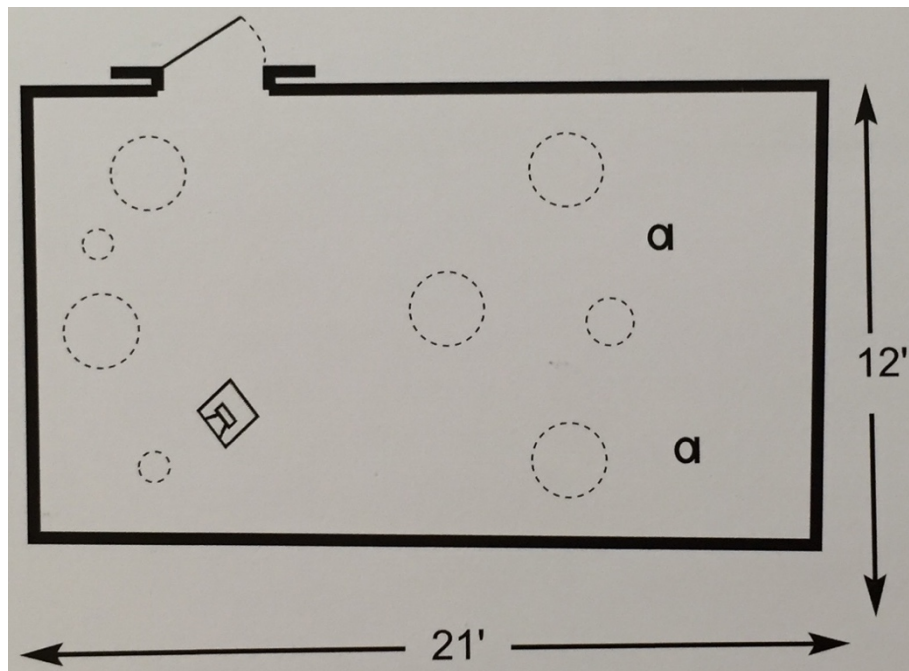
Den största begränsningen var att efterklangstiden var fixerad, något man kunde påverka genom val av olika byggnadsmaterial för tak, golv och väggar som ofta byggdes i betong. För att undvika stående vågor och framhävande av oönskade frekvenser byggde man vinklade väggar vilket skapade bättre spridning av ljudet. Man använde sig ofta av kakelplattor med en glansig yta på väggarna så väl som golv och tak för större reflektivitet och för att åstadkomma ett mera 'bright' sound, vilket i sin tur gjorde att ekokammarna ofta såg ut som badrum.

Vidare försökte man sig ofta på olika konstruktioner som placerades i kamrarna för att förbättra ljudet. På Abbey Road i London uppförde man en labyrint-liknande konstruktion mitt på golvet i den första ekokammaren man byggde, vilket var ett försök att förlänga efterklangstiden genom att tvinga ljudet att ta en längre väg från högtalaren till mikrofonen. Konstruktionen blev inte speciellt långlivad eftersom stående vågor uppstod, men pelarna som hade byggts för att hålla upp väggarna lämnades däremot kvar eftersom de ökade spridningen av ljudet.



Figur 5. Ekokammare nr 1 vid Abbey Road (Ryan & Kehew. 2006)

Samma idé implementerades när man byggde sin andra ekokammare. Man placerade avloppsrör i metall ståendes mitt i rummet. Rören fanns i två olika storlekar, den ena sorten med en diameter på cirka 45 cm och den andra med en diameter på cirka 30 cm. Av den större sorten hade man satt ihop två rör vilket gjorde att höjden var ungefär 180 cm och av den mindre sorten placerade man ut enskilda rör som hade en höjd på något under 90 cm. Rörens slutgiltiga placering kom man enligt ljudingenjören Malcolm Addey fram till genom försök och misstag: “As with most acoustic situations, the sound was achieved after much experimentation” (Ryan, Kehew. 2006).

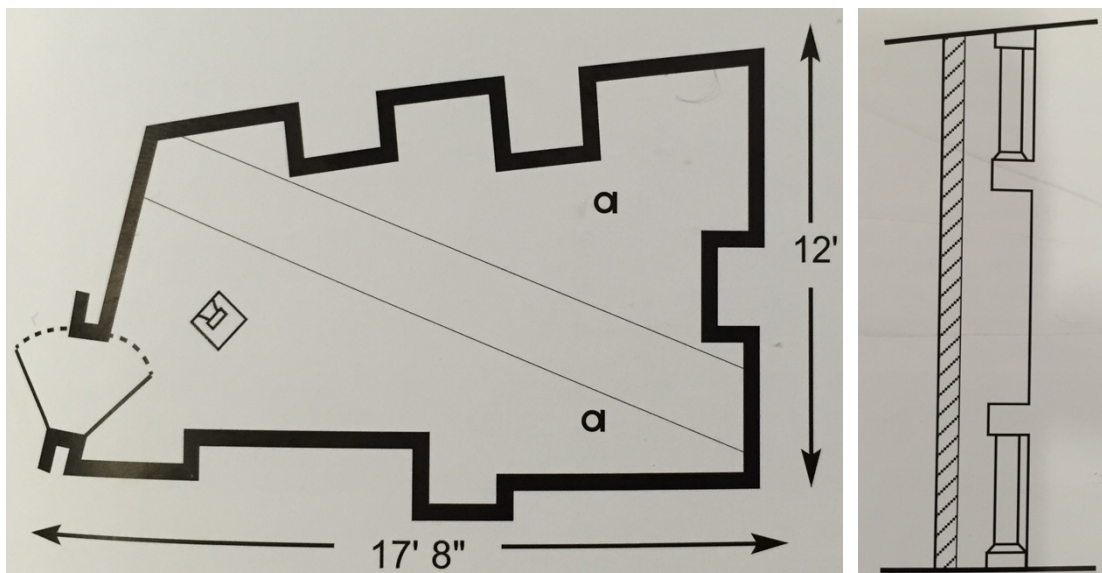


Figur 6. Ekokammare nr 2 (Ryan & Kehew. 2006)

Den tredje och sista ekokammaren som byggdes på Abbey Road var betydligt mera genomtänkt än de två tidigare. Kammaren designades för att användas i samband med Studio 1. Fast studion var väldigt stor klagade många klienter på att efterklangstiden inte var tillräckligt lång för en del klassiska inspelningar, vilket resulterade i förlorade inkomster när många kunder istället valde att spela in på andra ställen som t.ex. Kingsway Hall.

Man byggde ett flertal rektangulära pelare som stack ut från väggarna. Pelarna hjälpte till att sprida ljudet men innehöll också fyra stycken 60 cm långa rör som vardera hade en diameter på 15 cm. Rören var vertikalt inbyggda i pelarna med ena änden öppen mot rummet. Genom en 15 cm kvadratisk öppning i pelarna kunde ljudet ta sig in i rören. Avsikten med konstruktionen, även är känd som Helmholtz resonatorer, var att kontrollera det låga frekvenserna.

Utöver resonatorerna gick en 45 cm hög balk tvärs över golvet vilket bidrog till att ytterligare reflektera ljudet. Taket sluttade från 3,8 m till 3 m och väggarna var täckta med glansiga kakelplattor och byggdes med avsikt skeva för att förhindra parallella ytor.



Figur 7 & 8. Ekokammare nr 3 till vänster och en Helmholtz resonator till höger (Ryan & Kehew. 2006)

4 DIGITAL SIGNALBEHANDLING

*Detta kapitel (t.o.m. 4.8) baserar sig på boken *the Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing* (kapitel 1 - 18), skriven Steven W. Smith, Ph.D. Utgiven år 1997.*

4.1 Begrepp inom DSP

Signal En signal beskriver hur en parameter varierar i förhållande till en annan parameter, t.ex. hur spänningen varierar i en elektronisk krets under en bestämd tid.

System Ett system inom signalbehandling är en process som producerar en utsignal i förhållande till en insignal. System karakteriseras enligt hur de reagerar på impulser.

Impuls En enskild punkt som har ett annat värde än 0 i en sträng av 0:or. Genom att bryta ned signaler till enskilda impulser kan signalen undersökas ett sampel i taget.

Konvolution står för den matematiska strukturen och är grundstenen i digital signalbehandling. Om man vet hur ett system reagerar på en impuls kan man genom konvolution beräkna utsignalen utgående från insignalen i tidsdomänen. Konvolution gör det möjligt att analysera system i tidsdomänen.

Tidsdomänen beskriver ändringar i amplituden hos en signal över en bestämd tid.

Frekvensdomänen beskriver hur stor del av signalen som ligger på vilka frekvensband under observationstiden. Frekvensdomänen innehåller också information om fas.

4.2 Diskret Fouriertransform (DFT)

Med en given signal i tidsdomänen kallas beräkningen av samma signal i frekvensdomänen dekomposition eller helt enkelt DFT. Om man utgående från en signal i frekvensdomänen vill beräkna motsvarande signal i tidsdomänen använder man sig av omvänd DFT, också kallad syntes.

Med hjälp av DFT:en beräknas signalers frekvensspektrum och systems frekvenssvar utgående från impulssvar och vice versa. DFT:en delar upp en insignal i tidsdomänen med N antal punkter till en utsignal i frekvensdomänen bestående av sinus- och cosinusvågor med två punkter. Genom denna process kan signaler undersökas en punkt åt gången och information om signalens frekvens, fas och amplitud extraheras.

Det finns tre olika sätt att beräkna DFT:en. Ett sätt är att lösa flera ekvationer samtidigt, vilket är en relativt ineffektiv metod men fungerar bra om man vill förstå hur DFT:en i sig fungerar. Det andra sättet kallas för korrelation och baserar sig på att upptäcka kända vågformer i en signal, ofta i brus och används bl.a. i radarteknik. Det tredje sättet är FFT:n vilket producerar samma resultat som de övriga metoderna men på ett mycket effektivare sätt.

4.3 Snabb Fouriertransform (FFT)

FFT:en är en algoritim som baserar sig på den komplexa DFT:en vilket är en mera avancerad version av den normala DFT:en. FFT:en bryter ned en signal i tidsdomänen med N punkter till N antal signaler med en punkt vardera. Efter detta beräknas signalernas enskilda frekvensspektrum som till slut sätts ihop till en helhet.

Många tekniker inom digital signalbehandling är beroende av FFT:en, eftersom den i jämförelse med andra användbara metoder, på ett effektivare sätt ger samma resultat. Som ett exempel på detta kan FFT-konvolution nämnas; vilket bygger på principen att multiplikation i frekvensdomänen är lika med konvolution i tidsdomänen. Genom att använda sig av FFT:en för att konvolvera signaler i frekvensdomänen istället för tidsdomänen kommer man undan med ett lägre antal kalkyleringar.

4.4 Sampling

En inkommande analog signal går via en digital omvandlare som med hjälp av pulskodmodulering omvandlar signalen till en numerisk sekvens. Beroende på vilken samplingsfrekvens som används tas ett visst antal sampel av den inkommande signalen. Med en samplingsfrekvens på 48 kHz tas 48 000 sampel per sekund. Beroende på bitdjupet kvantiseras signalen till närmaste på förhand bestämda punkt. Ett bitdjup på 24 bitar ger över 16 miljoner möjliga värden och ett teoretiskt signal-brusförhållande på 144,49 dB.

Nyquist-Shannons samplingsteorem dikterar att samplingsfrekvensen bör vara dubbelt så hög som bandbredden på den signal som samplas för att undvika fel (aliasing). Musik som spelats in för att distribueras på CD-skiva med en samplingsfrekvens på 44,1 kHz har en teoretisk bandbredd på upp till 22 050 Hz. I själva verket måste ett lågpasfilter som skär av alla frekvenser ovanför 22 050 Hz sättas på signalen för att undvika aliasing. Eftersom ett filter i form av en lodrät vägg inte låter bra använder man sig av en mjukare kurva som dämpar frekvenserna mellan 20 000 – 22 050 Hz.

CD-skivan har länge varit på väg ut och i dagens läge konsumeras en stor del av musiken genom strömning. Detta har däremot inte gjort att ljudkvaliteten förbättrats, snarare tvärtom. Som en tumregel kan man säga att en mp3-fil ofta är 10 gånger mindre än originalet, vilket betyder att en stor del av informationen gått förlorad i konverteringsprocessen. Strömningstjänster som Spotify drar ytterligare ner på ljudkvaliteten i jämförelse med en 'vanlig' mp3-fil genom egna kompressionsalgoritmer.

Till Apples iTunes store får man ladda upp filer med en samplingsfrekvens på upp till 192 kHz vilket definitivt är en positiv sak men filerna konverteras sedan till formatet AAC med en samplingsfrekvens på 44,1 kHz och 256 Kbps. Vilket tar oss tillbaka till ruta ett. En stor del av informationen ovanför det hörbara området går förlorad när samplingsfrekvensen på det material som spelas upp inte tillåter frekvenser över t.ex. 22 050 Hz. Problemet ligger i att många instrument producerar energi långt över 22 050 Hz. En stor del av energin är 2:a, 3:e och 4:e gradens harmonier som ger stöd åt tonerna i det hörbara frekvensspektrumet. I ljudet från en violin finns det fortfarande energi

ovanför 40 kHz, en trumpet sträcker sig över 80 kHz och en 'crash' cymbal når en bra bit över 100 kHz. Bilden nedanför visar frekvenssvaret från en Trumpet med en Harmon sordin. Toppen ligger på 90,8 dB strax under 2 kHz men vid 50 kHz finns fortfarande cirka hälften av energin kvar.

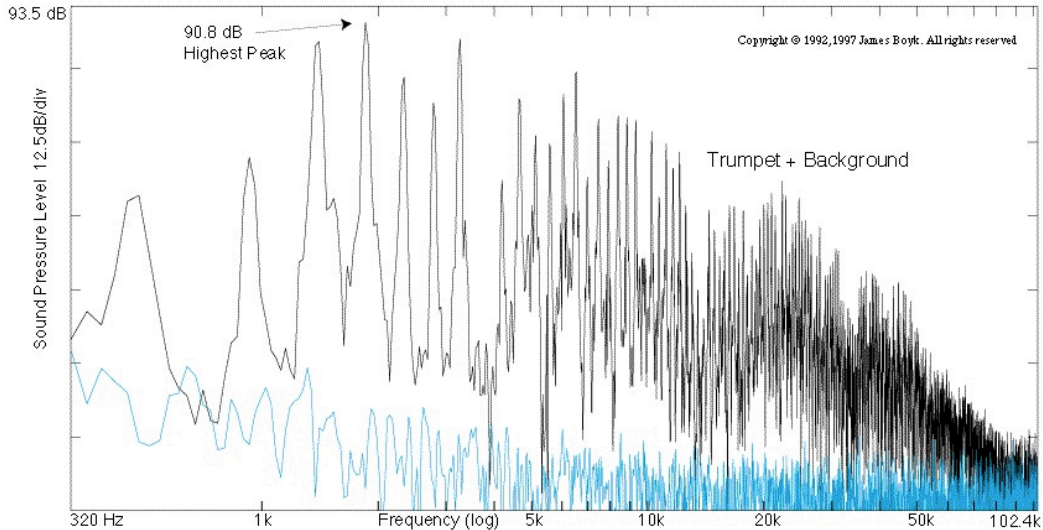


Figure 1(a) (Amplitude \propto frequency). **Trumpet with Harmon mute**; 95.5 dB at Aco 7016 microphone 4 feet away. Microphone aimed at bell, which was angled down about 20 degrees. Upper Trace: Trumpet + Background, corrected to 70 kHz (see text). Lower trace: Background alone.

Figur 9. Frekvenssvar. Trumpet med Harmon sordin (svart). Bakgrundsljud (blått) (Boyk. 1992, 1997)

Tabell 1. Olika instrument med och utan högre harmonier och deras frekvenssvar. Speciellt noterbart är att ljudet från en 'crash' cymbal går upp till ovanför 102 kHz och att 40% av cymballjudet ligger ovanför 20 kHz (Boyk. 1992, 1997)

Instruments With Harmonics

Fig.	Instrument	SPL (dB)	Harmonics Visible To What Freq.?	Percentage of Power Above 20 kHz
1.	Trumpet (Harmon mute)	96.	>50 kHz	0.5
2.	Trumpet (Harmon mute)	76.	>80 "	2.
3.	Trumpet (straight mute)	83.	>85 "	0.7
4.	French horn (bell up)	113.	>90 "	0.03
5.	French horn (mute)	99.	>65 "	0.05
6.	French horn	105.	>55 "	0.1
7.	Violin (double-stop)	87.	>50 "	0.04
8.	Violin (<i>sul ponticello</i>)	77.	>35 "	0.02
9.	Oboe	84.	>40 "	0.01

Instruments Without Harmonics

Fig.	Instrument	SPL (dB)	10 dB Above Bkgnd. to What Freq.?	Percentage of Power Above 20 kHz
10.	Speech Sibilant	72.	>40 kHz	1.7
11.	Claves	104.	>102 "	3.8
12.	Rimshot	73.	>90 "	6.
13.	Crash Cymbal	108.	>102 "	40.
14.	Triangle	96.	>90 "	1.
15.	Keys jangling	71.	>60 "	68.
16.	Piano	111.	>70 "	0.02

5 INSPELNINGAR

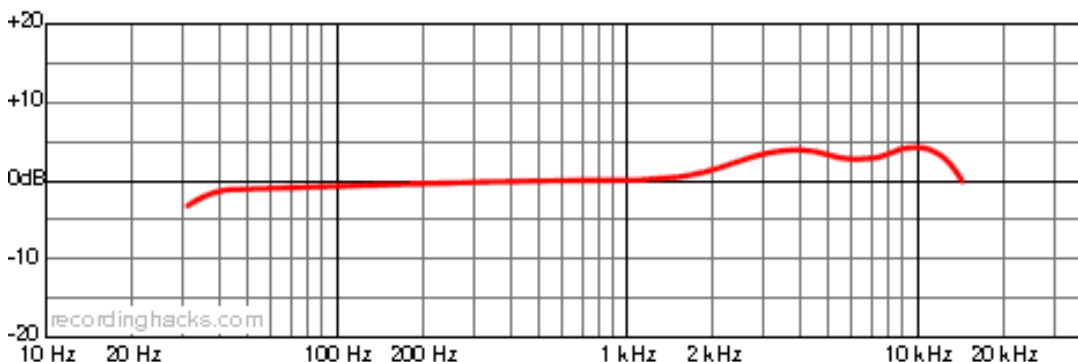
5.1 Inspelning av ljudklipp

5.1.1 Studio

Inspelningarna av de 'torra' ljudklippen gjordes i Arcadas studio. Studion är utrustad med ett brett utbud av mikrofoner, ett SSL AWS 498 mixerbord, Focusrite Rednet interface, Genelec högtalare och Pro Tools programvara.

5.1.2 Mikrofon

Till båda inspelningarna användes samma mikrofon, en Neumann U47. Modellen byggdes mellan åren 1949 – 1965 och kretsen är baserad på ett VF14M elektronrör. U47:an är likt många andra gamla Neumann mikrofoner mycket eftertraktade. Mikrofonen valdes utgående från personlig preferens för dess 'varma' och 'klara' sound och relativt neutrala karaktär trots en 'färgning' av ljudet typisk för modellen som syns i grafen nedanför. Frekvenssvaret ligger mellan 35 – 15 000 Hz.



Figur 10. Frekvenssvar. Neumann U47 (Recordinghacks)

5.1.3 Virveltrumma

Målet med virveltrumman var att fånga ett distinkt och balanserat sound med tillräckligt med 'punch' eller 'snap', en balanserad botten och minimalt med ringande övertoner. Trumman som användes är en Ludwig Supraphonic vilket brukar nämnas som den mest inspelade virveltrumman i historien. Exemplet i denna inspelning är gjord runt 2007

och har en diameter på 14” och ett djup på 6,5”. Stommen är av metall, eller ‘Ludalloy’, vilket i princip är aluminium. Skinnen är något slitna Remo Ambassador Coated på slagsidan och Remo Ambassador Hazy på undersidan. Sejarmattan är av märket Pure-sound och trumpinnarna Vater SD9 Hickory. För att få bästa möjliga resultat gjordes flera inspelningar med små justeringar i stämningen och mikrofonplaceringen i mellan. Vi provade också med en Yamaha virvel i trä men resultatet blev inte lika bra. Efter att ha spelat in och lyssnat igenom över 100 slag valdes det bästa ut.

5.1.4 Sång

Målet med sången var att få ett något längre ljudklipp med varierande dynamik och pauser mellan fraserna där rumsklngen får ring ut. En version där frasen ‘sometimes I feel like a motherless child’ upprepas flera gånger valdes ut eftersom variationen i dynamiken var väldigt bra, frasering tydlig och pauserna mellan fraserna var passligt långa.

5.2 Musikhuset

Resten av inspelningarna tog plats i Musikhusets orgelsal Organo. Salen valdes ut som den mest lämpliga av fyra olika alternativ. Efterklngen i salen är väldigt intressant, den är aningen metallisk och har en ekoliknande karaktär men känns samtidigt kontrollerad.

På Musikhusets hemsida beskrivs salen så här:

“Akustiken i Organo är särskilt anpassad för orgelmusik. Efterklngen är rätt lång i förhållande till salens storlek. Golvet är lagt ovanpå ett lager av sand för att basklngen ska spridas jämnt i rummet. Då orglarna är i trä och lätt tappar stämningen, är marginalerna små vad gäller luftfuktighet och temperaturförhållanden. Temperaturen i salen ligger på omkring 19,5°C och den relativa luftfuktigheten på 50%.” (Musikhuset)

Musikhuset i Helsingfors invigdes år 2011, I byggnaden finns 4 stycken mindre konsertsalar, en övningsal och den stora konsertsalen. Mätningar i den stora konsertsalen hade varit väldigt intressanta och hade gett arbetet ytterligare en dimension men gick tyvärr inte att ordna.

5.2.1 Organo

Högtalaren placerades på en stol uppe vid orgelbänken med elementen riktade in mot salen. Mittemot högtalaren i mitten av salen på 3,5 m avstånd placerades 2 stycken mikrofoner på ett stativ med en stereobrygga med stativarmar parallella mot golvet. Avståndet mellan mikrofonerna var 2,5 m och höjden från golvet 1,5 m. Mikrofonerna riktades mot högtalaren men parallellt med väggen vilket gav en vinkel på 45° i förhållande till högtalaren. Mikrofonerna kopplades till en bärbar inspelare och högtalaren kopplades först till en Olympus LS-1 och sedan till en Macbook Pro när output volymen på Olympus:en inte räckte till. De elektroniskt reglerbara akustikdraperierna som finns i salen var inte i användning under inspelningarna eftersom målet var att fånga längsta möjliga efterklang.



Figur 11. Orgelsalen Organo (Musikhuset)

5.2.2 Sinussvep och ljudklipp

Svepet spelades upp och bandades tre gånger tills en lämplig ljudnivå med tillräcklig volymen och utan distortion uppnåddes. På samma sätt spelades ljudklipperna upp och bandades i tur och ordning.

6 RESULTAT

Efter att resultatet från inspelningarna analyserats konvolverades de 'torra' ljudklippen med reverbet som gjorts med impulssvaret. Det visade sig att en 100% reverb-mix inte var rätt förhållande mellan ren och ekoförsedd signal och efter att ha testat olika förhållanden mellan signalerna utgående från sånginspelningen, visade sig 83,09% vara den mix som bäst motsvarade inspelningen med naturlig efterklang.

När de 'torra' ljudklippen renderades i Altiverb sjönk ljudnivån med ungefär 7 dB. För att få ett jämförbart resultat måste ljudnivån på klippen med artificiell rumsklang anpassas till inspelningarna med naturlig rumsklang. Till detta användes insticksmodulen Gain i Pro Tools med vilken klippen matchades till inspelningarna enligt RMS-nivå.

En skillnad i ljudnivån på 0,5 dB mellan högra och vänstra mikrofonen från inspelningsskedet rättades också till.

6.1 Ekvallisering

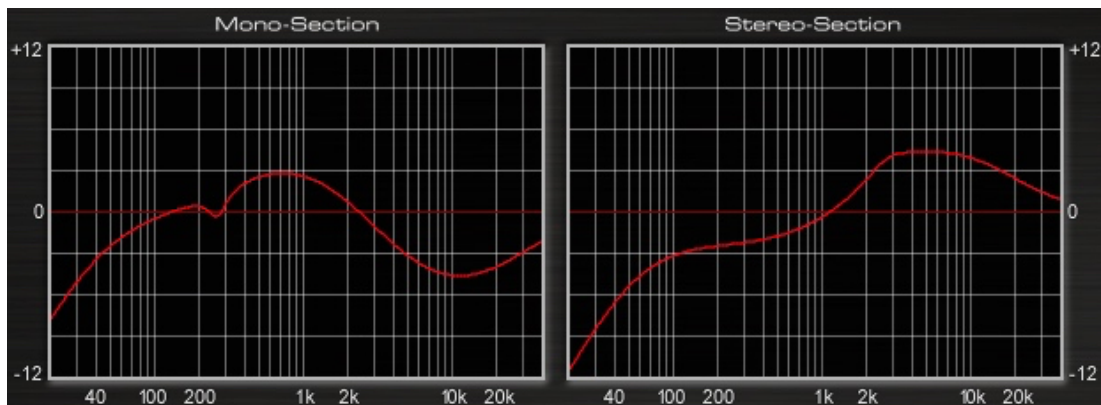
Efter att en lämplig nivå mellan signalerna hade uppnåtts och ljudnivån mellan klippen normaliserats fanns fortfarande tydliga skillnader. För att rätta till detta användes Brainworx bx_digital V2, vilket är en M/S ekvalisator med vilken man kan lyssna på mitten och sidorna i stereosignalen skilt för sig.

Alla ingrepp gjordes på ljudklippen med artificiell rumsklang. Både sången och virveln spelades in i mono (i studion) och konvolverades med impulssvarsreverbet i stereo för att matcha inspelningarna från Organo där en högtalare och två mikrofoner användes.

6.1.1 Ekvallisering sång

Sången kom aningen för tydligt fram ovanför 2 kHz i monosektionen samtidigt som mera tydlighet krävdes mellan 300 Hz – 2 kHz. En skärning på upp till -5,3 dB vid 8,12 kHz och en höjning på 3,7 dB vid 1,15 kHz med låga Q-värden gjordes för att rätta till detta. Vid 263 Hz gjordes ytterligare en skärning på -1,9 dB med ett högre Q-värde till-

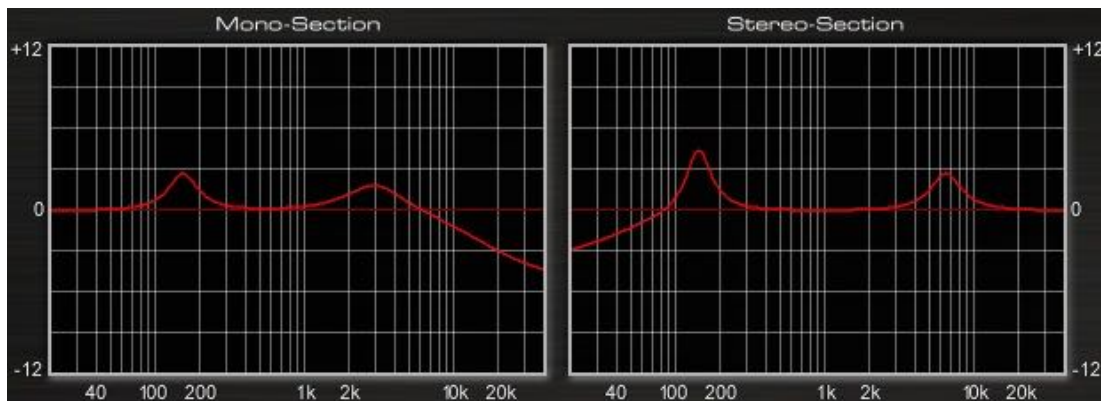
sammans med ett högpassfilter vid 44 Hz vilket resulterade i en brantare nedåtsluttande kurva som slutar någonstans runt -8 dB vid 20 Hz. I stereosektionen höjdes de höga frekvenserna som tagits bort i monosektionen fr.o.m. 1 kHz med upp till +4,2 dB vid 6,93 kHz och +1,4 dB vid 2,8 kHz. En skärning på -2 dB vid 294 Hz gjordes tillsammans med ett hög-pass filter vid 71 Hz vilket likt monosektionen resulterade i en brant nedåtsluttande kurva fr.o.m. 100 Hz ned till nästan -12 dB vid 20 Hz.



Figur 12. EQ-kurvor. Sång

6.1.2 Ekvallisering virveltrumma

Virveln lät ganska bra i monosektionen men var aningen ‘bright’ och krävde samtidigt lite mera botten. Mellan 70 – 300 Hz gjordes därför en justering uppåt med en topp vid 153 Hz på +2,7 dB, samt en mjukare höjning för mera tydlighet mellan 1 – 6 kHz med en topp vid 2,99 kHz på +2 dB. Från 6 kHz upp till 22 kHz lades ett nedåtsluttande hyllfilter in som slutar vid 22 kHz på -5,1 dB. I stereosektionen gjordes liknande ingrepp. En skärning på -3,6 dB vid 33 Hz och två höjningar med höga Q-värden. Den första på +4,8 dB vid 142 Hz och den andra på +2,7 dB vid 6,50 kHz.



Figur 13. EQ-kurvor. Virvel

6.2 Frekvensanalys

6.2.1 Paz Analyzer

För att analysera ljudklippen har insticksmodulen Paz Analyzer från Waves använts. Modulen går att ställa in för olika användningsområden med hjälp av knapparna på bilden nedanför. För att resultatet av analyserna skall vara så klart som möjligt följer en snabb genomgång av deras respektive funktioner. (Waves)



LF res: (upplösningen för låga frekvenser): Bestämmer antal frekvensband och bredden på banden under 250 Hz. Inställningarna 40, 20 eller 10 Hz ger mellan 52 – 68 band. Ovanför 250 Hz är bredden på banden 10,0 (ingen enhet given). 40 Hz ger enligt Waves best prestanda och fungerar mest likt det mänskliga örat.

Figur 14. Inställningar. Paz Analyzer. Frekvensspektrum

Weight (vikt): Inställningarna dBA, dBB och dBC representerar olika typer av mätkurvor enligt standarden IEC 61672:2003 (Wikipedia). A-kurvan är den mest använda och är anpassad för ljud med relativt låg volym (även musik). Kurvorna minskar på de låga frekvensernas inverkan på mätresultatet eftersom deras närvaro inte nämnvärt bidrar till den totala Loudness-nivån vid låga volymer. En fjärde ‘unweighted’-kurva (ungefär: utan vikt) ger en exakt avläsning där all elektrisk energi i ljudfilen syns i mätresultatet.

Freeze (frysning): Möjlighet att ‘frysa’ kurvan vid tillfället där knappen trycks in.

Show (visa): L+R ger den totala energin i en stereofil och L-R separerar kanalerna.

Peak Hold (topp, behåll): Sparar en kurva baserat på topp-nivå. **Clear** (rensa).

Detect (upptäck) och **Response** (respons): RMS-inställningen ger ett medelvärde av energin över en tid som bestäms av ‘Response’-knappen. Peak-inställningen visar top-

parna i de olika frekvensbanden och 'Respons'-knappen bestämmer 'release'-tiden. Standardinställningen som använts i mätningarna är 160 ms.

6.2.2 Frekvensspektrum sång

Två stycken analyser per ljudfil har gjorts, en på RMS-nivån och den andra på Peak-nivån. Övriga inställningar är samma som på bilden på föregående sida. 40 Hz, dBA-kurva, L+R och responstiden = 160 ms.

Ljudklippen har matchats enligt RMS-nivå med insticksmodulen Gain i Pro Tools och dubbelkollats med Waves insticksmodul WLM Loudness Meter.

Pro Tools Gain

'Torr' sång (mono): -23,8 dB; Peak -4,7 dB

Organo: -23,8 dB; Peak -3,1 dB

Altiverb: -23,8 dB; Peak -1,8 dB

Waves WLM Loudness Meter

'Torr' sång (mono): -17,7 LUFS; Peak -4,6 dB

Organo: -17,6 LUFS; Peak -3,0 dB

Altiverb: -17,7 LUFS; Peak -1,5 dB

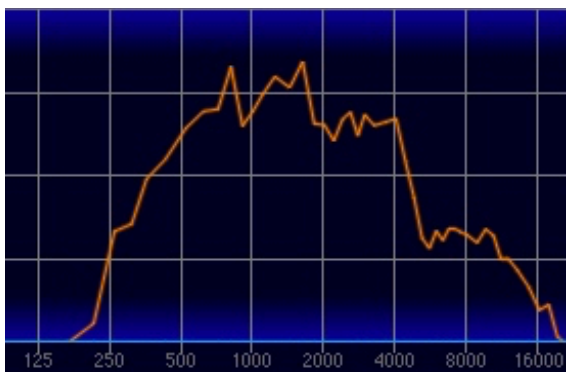
***LUFS** (Loudness Unit relative to Full Scale) (EBU. 2016 s. 43): Loudness-standard rekommenderad av EBU (European Broadcast Union). LUFS baserar sig på en annan standard: **LKFS** (Loudness, K-weighted, relative to Full Scale) av ITU (International Telecommunication Union) (ITU. 2011). Trots initiella skillnader är termerna i dag synonyma.*

Grafens x-axel innehåller information om ljudtrycket; -80 – 0 dB och y-axeln innehåller information om frekvensomfånget; 6 – 23250 Hz. Eftersom dBA kurvan filtrerar bort de låga frekvenserna syns inga mätvärden under ~165 Hz. Exemplet nedanför är RMS mätningen på den 'torra' sånginspelningen.

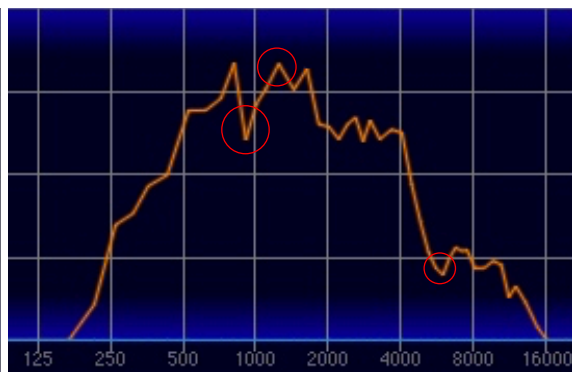


Figur 15. Exempel

RMS

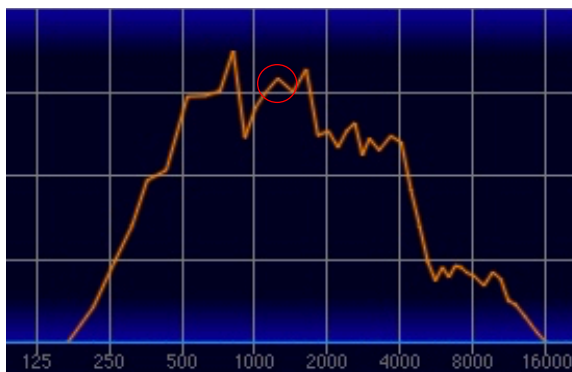


Figur 16. Sång, 'Torr'. Ljudtryck. RMS



Figur 17. Sång, Organo. Ljudtryck. RMS

Resultat: Inga stora förändringar mellan graf 1 och 2. Förutom svackan vid 891 Hz som är -3,1 dB lägre i graf 2 i förhållande till den föregående toppen i båda graferna och nästa topp vid 1219 Hz som är på en +2,8 dB högre nivå än i graf 1 är mönstret i stort sett det samma i båda graferna fram till 4000 Hz.

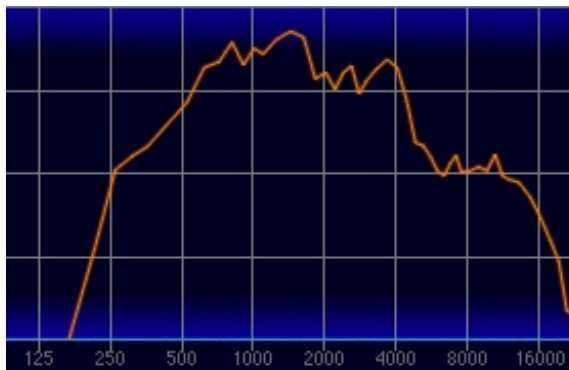


Figur 18. Sång, Altiverb. Ljudtryck. RMS

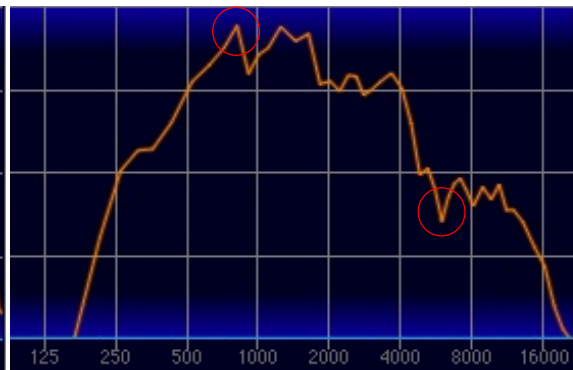
Från och med punkten (5813 Hz; -64,2 dB) som är den lägsta noteringen i bandet 4000 – 8000 Hz i graf 2, fram till det första mätvärdet under -80 dB sträcket i båda graferna (20 250 Hz och 15750 Hz på -80,1 dB); ligger kurvan i graf 1 på en i medeltal +4 dB högre nivå än graf 2.

Mellan graf 2 och 3 är de främsta skillnaderna ett högre ljudtryck i graf 2 strax ovanför 250 Hz (+7,1 dB vid 258 Hz) och i graf 3 strax ovanför 500 Hz (+3,6 dB vid 516 Hz), piken vid 1219 Hz som är på en -3,3 dB lägre nivå i graf 3. I banden mellan 4000 – 16 000 Hz är de sammanlagda skillnaderna små och mönstret i hela frekvensspektrumet är i allmänhet väldigt lika de två kurvorna emellan.

Peak

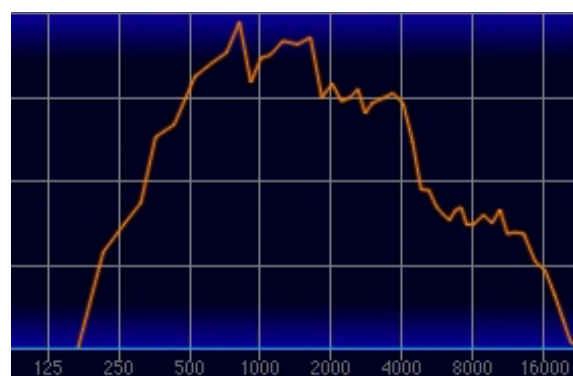


Figur 19. Sång, 'Torr'. Ljudtryck. Peak



Figur 20. Sång, Organo. Ljudtryck. Peak

Resultat: Likt RMS mätningarna är det främst vid topparna i mellanregistret och i banden mellan 4000 – 16 000 Hz som de största skillnaderna ligger. Mönstret i graf 4 och 5 är väldigt lika fram till toppen vid 797 Hz som är på en +3,9 dB högre nivå i graf 5. I övrigt är det igen främst i banden mellan 4000 – 16 000 Hz som resten av skillnaderna syns.



Figur 21. Sång, Altiverb. Ljudtryck. Peak

Kurvan i graf 6 klättrar på ett lite annorlunda sätt än i de två föregående graferna och toppen vid 797 Hz noterar det hösta resultat bland alla mätningar; -2,4 dB vilket är +6,3 dB högre än i graf 1. I övrigt är nivån i bandet mellan 2000 – 4000 Hz något lägre i jämförelse med graf 5 och svackan vid 5813 Hz är borta.

Sammandrag: Eftersom en mänsklig röst främst ligger mellan 250 – 2000 Hz är det naturligt att de största skillnaderna finns mellan de frekvenserna. Förklaringen till den lägre nivån i banden mellan 4000 – 16 000 Hz kan vara ett resultat av många faktorer, bland annat salens naturliga efterklang som är formad på ett visst sätt och inverkan av mikrofoner och högtalare i inspelningsskedet i Organo.

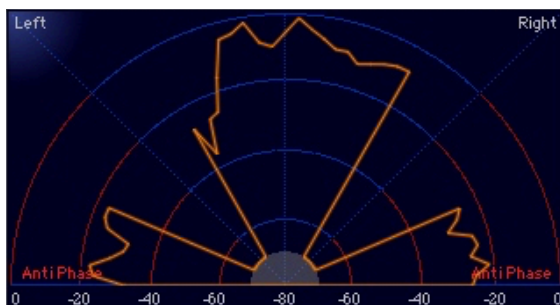
6.2.3 Stereobild sång

Inställningar: A-vikt på dB-kurvan. Två stycken mätningar per ljudklipp, en på RMS-nivån och en på Peak-nivån. Responstiden = 160 ms. Upplösningen för de låga frekvenserna har ingen inverkan på mätresultatet.

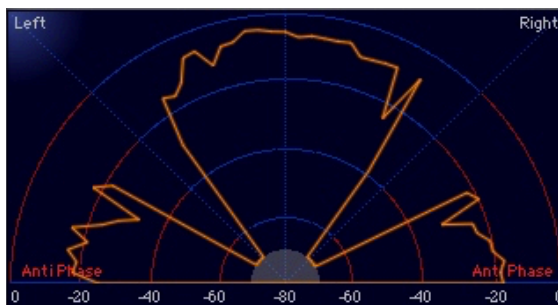


Figur 22. Inställningar. Paz Analyser. Stereobild

RMS



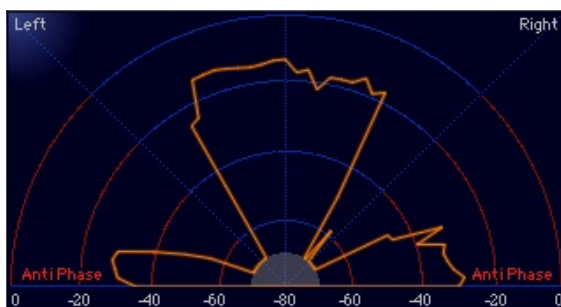
Figur 23. Sång, Organo. Stereobild. RMS



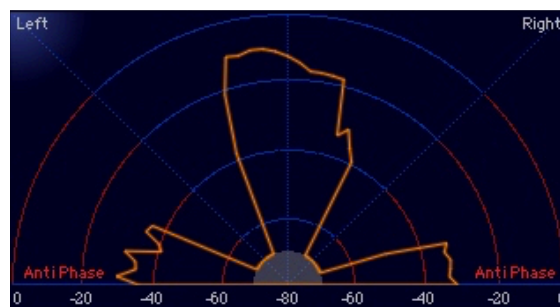
Figur 24. Sång, Altiverb. Stereobild. RMS

Resultat: Stereobilden ser mycket bättre ut i graf 7. Ett antal små ojämnheter men i allmänhet är kurvan ganska jämn och ligger i mitten av fältet. Kurvan i graf 8 ligger också förhållandevis mitt i fältet upp till -40 dB men högre upp är sidorna betydligt ojämnare. Ljudtrycket i vänster sida är högre i båda graferna. Fasfelet är bredare på den högra sidan i graf 7 och på den vänstra sidan i graf 8.

Peak



Figur 25. Sång, Organo. Stereobild. Peak



Figur 26. Sång, Altiverb. Stereobild. Peak

Resultat: I Peak mätningen ser kurvan i graf 10 mycket bättre ut, den är bred och fast en del tydliga ojämnheter syns är den betydligt jämnare än kurvan i graf 9 som har väldigt stora ojämnheter på vänster sida. Fasfelen i de båda kurvorna är bredare i graf 10 men om man jämför vänster och höger sida med varandra ser de nästan identiska ut inom graferna.

6.2.4 Frekvensspektrum virveltrumma

Samma inställningar som i graf 1 – 6 har använts för mätningarna på virveltrumman.

Nivåerna på ljudklippen enligt tabellen:

Pro Tools Gain

'Torr' virveltrumma (mono): -37,8 dB; Peak -8,9 dB

Organo: -37,8 dB; Peak -8,4 dB

Altiverb: -37,8 dB; Peak -7,6 dB

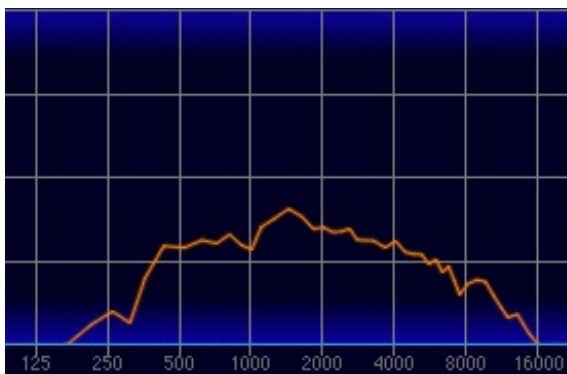
Waves WLM Loudness Meter

'Torr' virveltrumma (mono): -28,6 LUFS; Peak -8,9 dB

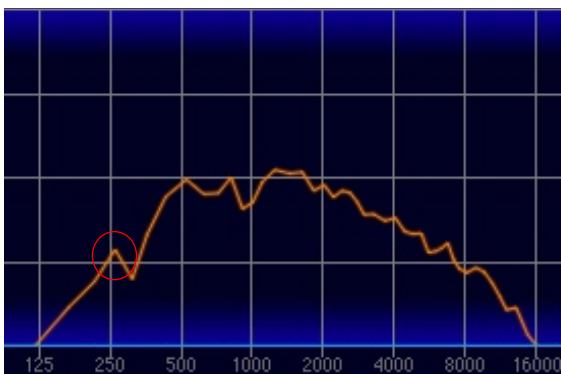
Organo: -24,4 LUFS; Peak -8,4 dB

Altiverb: -24,6 LUFS; Peak -7,6 dB

RMS

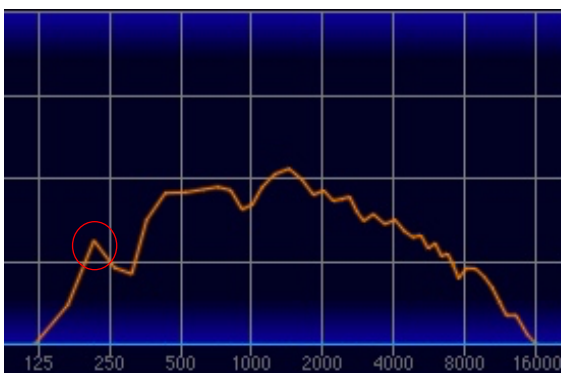


Figur 27. Virvel, 'Torr'. Ljudtryck. RMS



Figur 28. Virvel, Organo. Ljudtryck. RMS

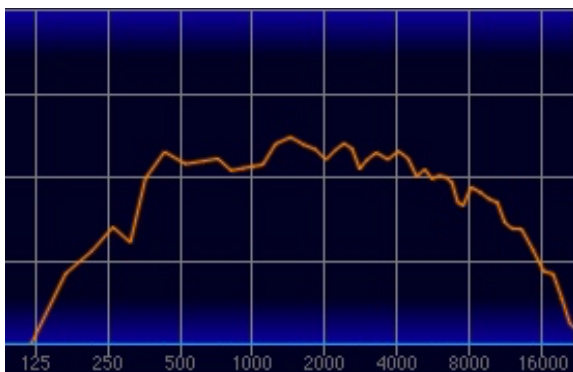
Resultat: Graf 11 skiljer sig först och främst från de två andra graferna på grund av det lägre ljudtrycket, men också i de låga frekvenserna syns tydliga skillnader. Det är antagligen det *högre* ljudtrycket som gör att graf 12 och 13 registrerar mätresultat ända ned till 125 Hz som inte syns i graf 11.



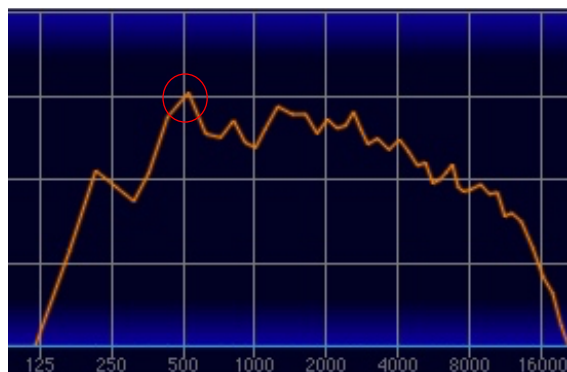
Figur 29. Virvel, Altiverb. Ljudtryck. RMS

I banden mellan 250 – 1000 Hz delar kurvorna i graf 11 och 13 ett väldigt liknande mönster och den absoluta toppen i alla grafer finns i bandet mellan 1000 – 2000 Hz. Mönstret de tre graferna sinsemellan är i stort sett det samma från och med 2000 Hz och framåt. Största delen av energin finns i banden mellan 250 – 8000 Hz vilket man kan förvänta sig av en virveltrumma som är den trumma som har det bredaste frekvenssvaret i ett trumset. Första tanken på varför toppen nedanför 250 Hz i graf 13 finns på ett annat ställe än i graf 12 var en miss med ekvalisatorn, men Peak mätningarna på nästa sida talar emot den teorin.

Peak

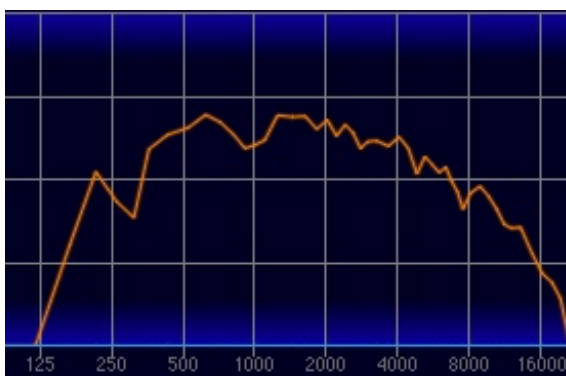


Figur 30. Virvel, 'Torr'. Ljudtryck Peak



Figur 31. Virvel, Organo. Ljudtryck. Peak

Resultat: Ett liknande resultat som i RMS mätningarna, men som sagt är toppen nedanför 125 Hz på samma ställe i graf 15 och 16. I allmänhet klättrar graf 15 och 16 spik rakt upp mot toppen medan graf 14 har en svagare lutning och landar på en punkt högre upp i frekvensspektrumet.



Figur 32. Virvel, Altiverb. Ljudtryck. Peak

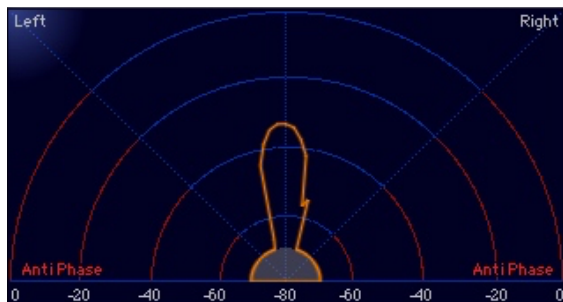
Mönstret runt 500 Hz i inspelningen från Organo skiljer sig också här från de andra två graferna och toppen vid punkten (516 Hz; -19,4 dB) är betydligt högre än vid samma frekvenstal i graf 16. Annars ser alla tre kurvor väldigt likadana ut från och med 2000 Hz med den noterbara skillnaden att den 'torra' inspelningen har något mera energi ovanför 16 000 Hz.

Sammandrag: De största skillnaderna finns i banden mellan 250 – 1000 Hz vilket är ett kritiskt område för en virveltrumma och som vi också tidigare konstaterat för rums-klangen i sig, vilket förklarar en hel del. De något spetsigare kurvorna i inspelningen från Organo i bandet mellan 500 – 1000 Hz är med största sannolikhet något som inte fångats upp lika bra av sinussvepet eftersom inget gjordes åt Altiverb-versionen i EQ-skedet vid de frekvenserna. Kurvorna i alla sex grafer ser väldigt likadana ut från och med 2000 Hz och skillnaderna mellan 125 – 250 Hz kan ha en rad olika förklaringar, bland annat kan responstiden på mätaren ha invekat kraftigare på RMS resultatet.

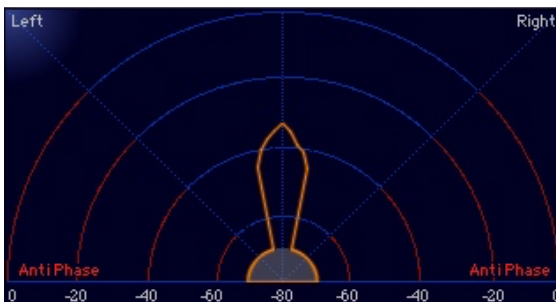
6.2.5 Stereobild virveltrumma

Mätkurvan är dBA och enligt samma procedur som tidigare har en mätning på RMS-nivån och en på Peak-nivån gjorts per ljudfil. Inga fäfel upptäcktes.

RMS



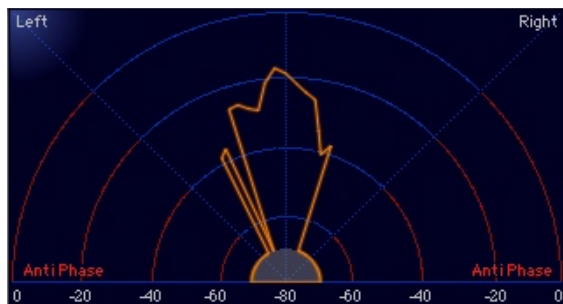
Figur 33. Virvel, Organo. Stereobild. RMS



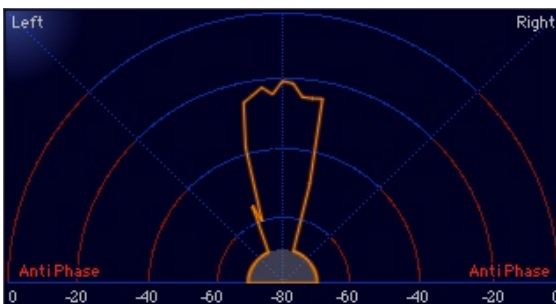
Figur 34. Virvel, Altiverb. Stereobild. RMS

Resultat: Ganska smal stereobild vilket är något man kan förvänta sig. Graf 17 är rund i toppen och lite ojämn på höger sida men ligger annars i mitten av fältet. Graf 18 har en spetsigare topp och ligger precis mitten av stereobilden med nästan spegellika sidor.

Peak



Figur 35. Virvel, Organo. Stereobild. Peak

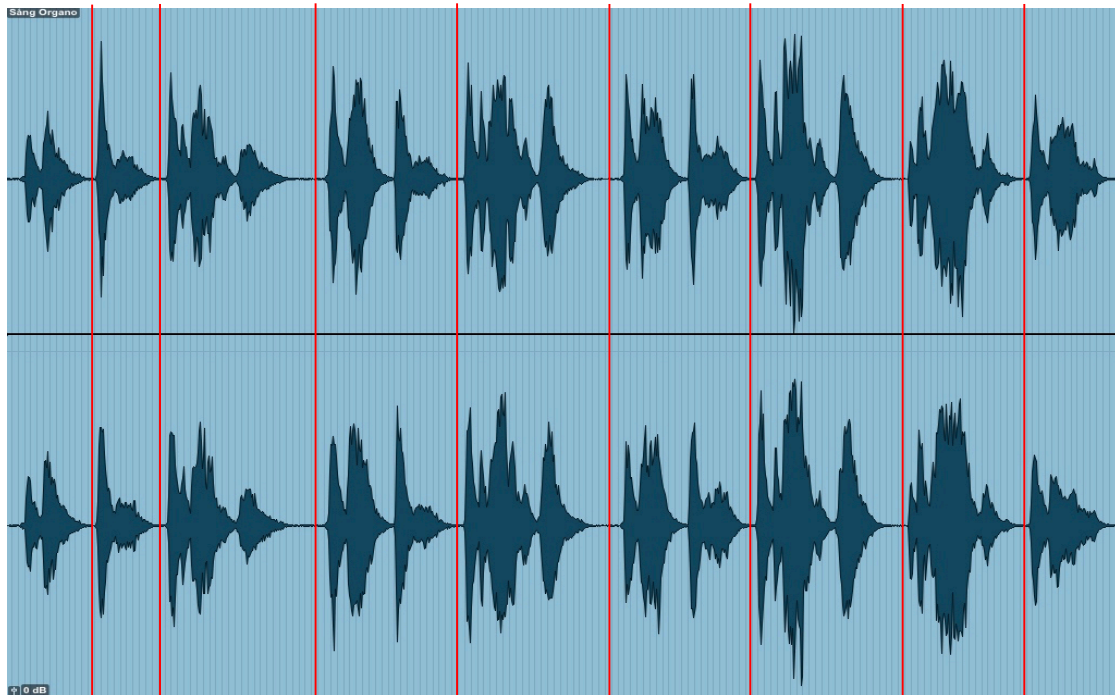


Figur 36. Virvel, Altiverb. Stereobild. Peak

Resultat: Peak mätningarna återger ojämnare kurvor, speciellt graf 19 är väldigt spretig och lutar kraftigt åt vänster. Graf 20 är betydligt jämnare men också den lutar (svagt) åt vänster.

6.3 Vågformsanalys

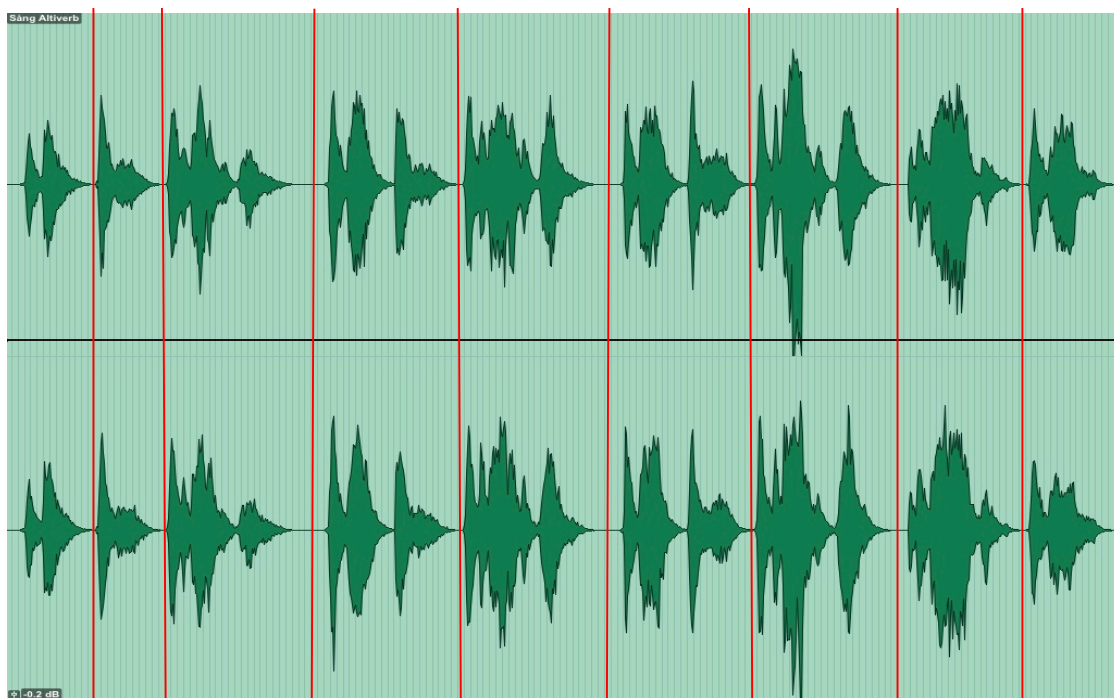
6.3.1 Vågformsanalys sång



Figur 37. Sång, Organo. Vågform

Analys: En ideal inspelning av under förhållandena skulle ha gett identiska vågformer på vänster och höger sida. Skillnaderna mellan sidorna i bilden ovanför är relativt små men tydliga och absoluta inte försumbara. RMS-nivån mellan vänster och höger sida är till största delen jämn och det är främst i topparna som skillnaderna syns.

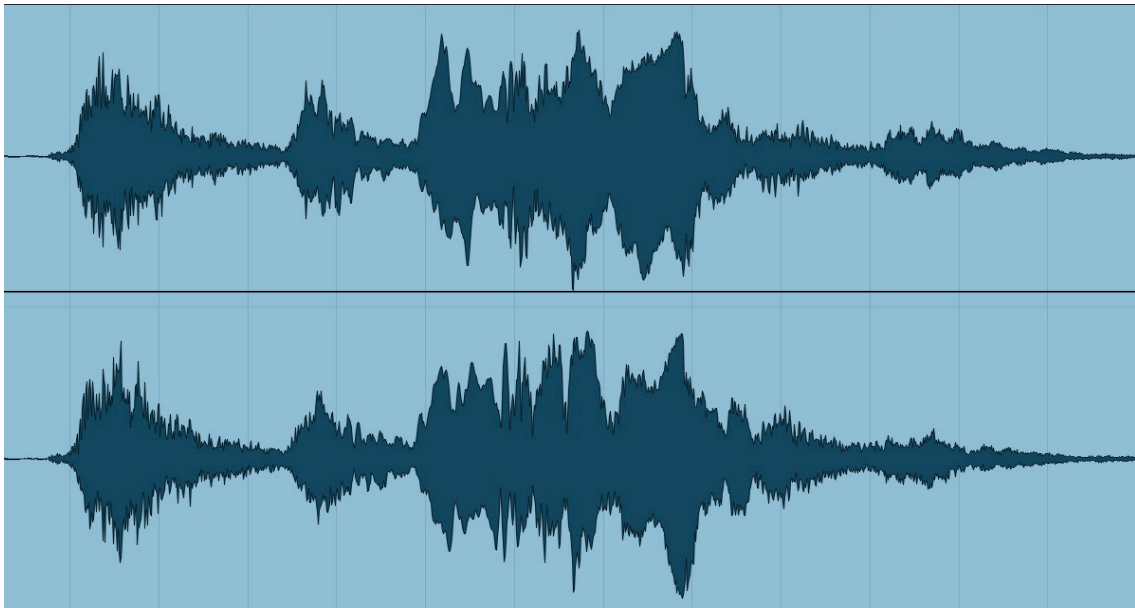
Den första noterbara skillnaden syns i den andra gruppen av vågor räknat från vänster, där ljudtrycket i toppen på vänster sida är avsevärt mycket högre än i den högra sidan. I nästa grupp syns små skillnader i nivå på topparna sinsemellan, den första toppen på vänster sida sträcker sig högre än den andra och på höger sida är förhållandet det motsatta. I den fjärde, femte och sjätte gruppen syns ett liknande fenomen där nivån på topparna i vänster och höger sida är olika i förhållande till varandra. Mot slutet av klippet jämnas skillnaderna ut. I den sjunde gruppen vilket också är den grupp som innehåller det högsta ljudtrycket är skillnaderna i topparna mellan sidorna mera subtila och i den åttonde och nionde gruppen ännu mera så.



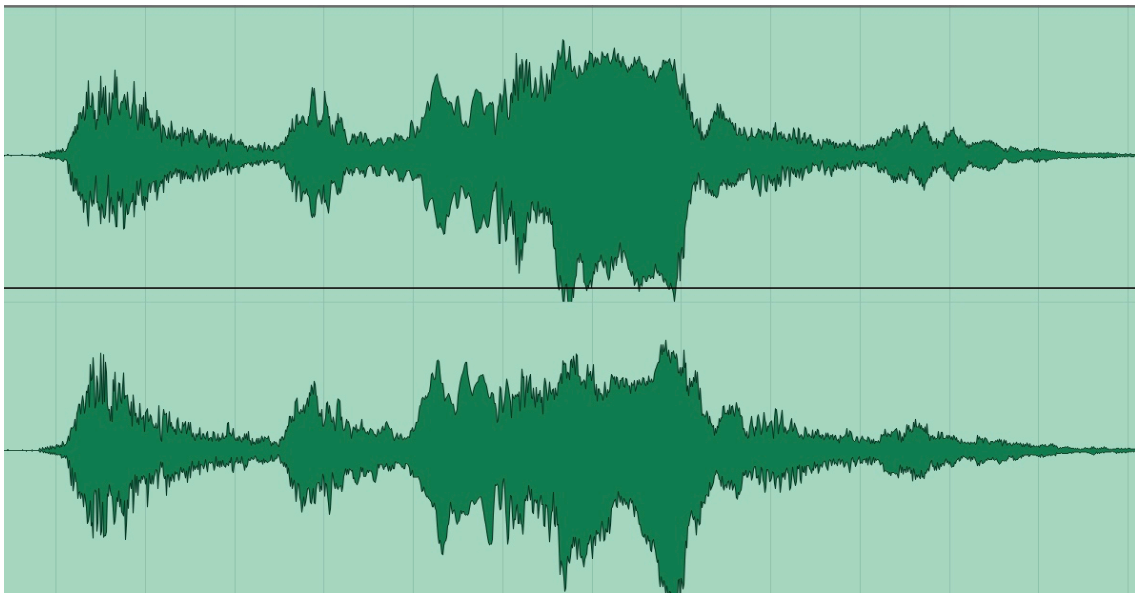
Figur 38. Sång, Altiverb. Vågform

Analys: Ett liknande fenomen syns i klippet med den artificiella rumsklangen. Mikrofonerna stod kvar på exakt samma plats vid inspelningen av sinussvepet som under inspelningarna av den naturliga rumsklangen, vilket torde vara en del av förklaringen till varför sidorna också i detta klipp uppvisar skillnader i vågformerna. Denna gången är det däremot den högra sidan som i de flesta fallen upplever högre pika. Skillnaderna kan tyckas vara mindre och RMS-nivån ser på håll ut att vara dynamisk men som vi under en närmare titt (på sida 42 och 43) kommer att märka är nivån mycket mera jämntjock än i den föregående inspelningen.

I den tredje gruppen dyker den första avvikelsen upp där den första toppen är något högre på höger sida, också den andra toppen på vänster sida är något högre än motsvarande topp på höger sida. I den fjärde gruppen är den första toppen på höger sida betydligt högre och i den femte gruppen syns tydligare toppar i mittpartiet på samma sida. I den sjätte gruppen syns ett i allmänhet högre ljudtryck runt de två första topparna på höger sida. I den sjunde gruppen är den första och sista toppen på höger sida starkare och vänster sida är mittpartiet mera jämnt. Likt den föregående analysen jämnas skillnaderna ut mot slutet av klippet och den åttonde och nionde gruppen ser relativt likadana ut på båda sidorna.

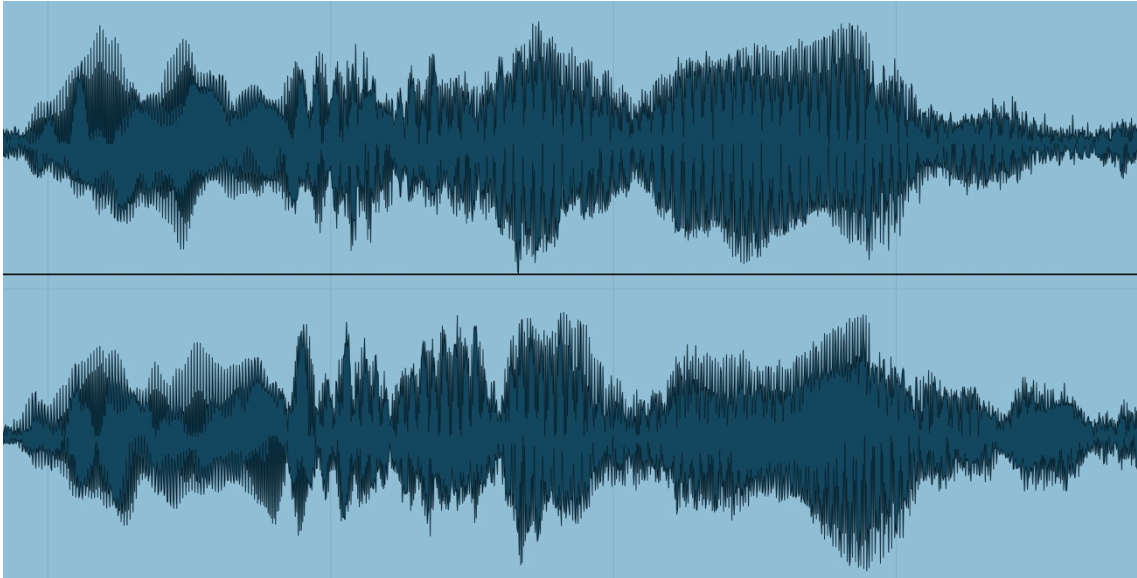


Figur 39. Sång, Organo. Vågform, grupp 7

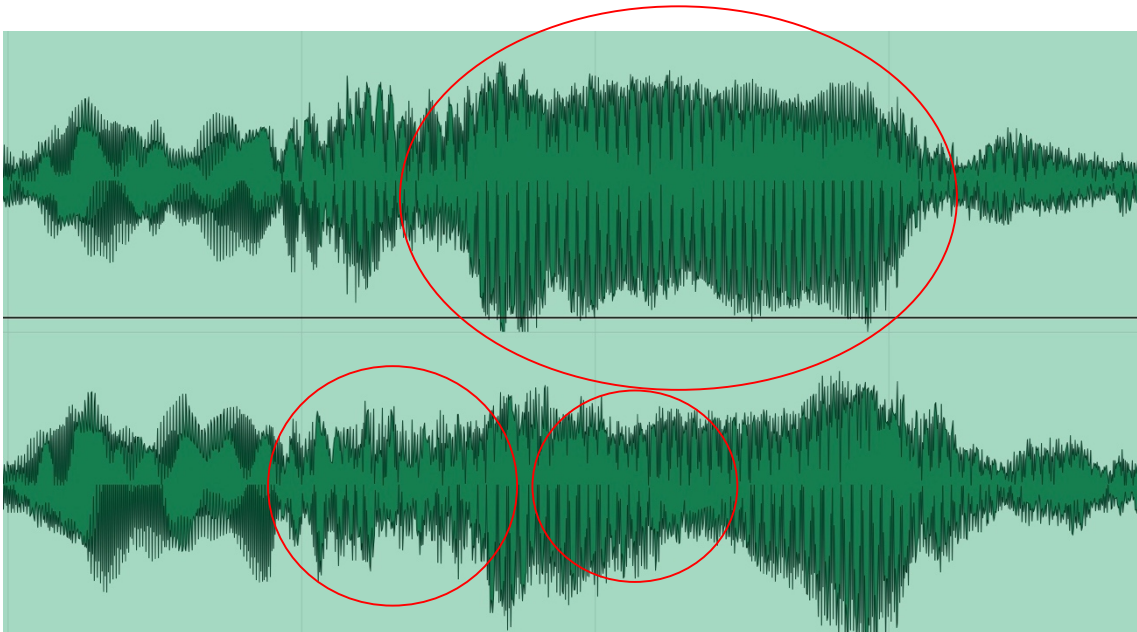


Figur 40. Sång, Altiverb. Vågform, grupp 7

Jämförelse: Fram till mitten av klippet ser ljudrycket främst ut att vara högre i den första bilden, men längre fram ser vi att dynamiken i själva verket är mycket bättre i inspelningen från Organo. Vänster och höger sida är också mera lika varandra. Skillnaderna mellan topparna och svackorna i den andra bilden är mindre och ger därmed ett jämntjockt utseende. Speciellt den vänstra sidan ser ut som att den har blivit kraftigt komprimerad, vilket tyder på en anhopning av oönskade frekvenser i reverbet. En närmare titt i närbilderna på nästa sida förtydligar detta.



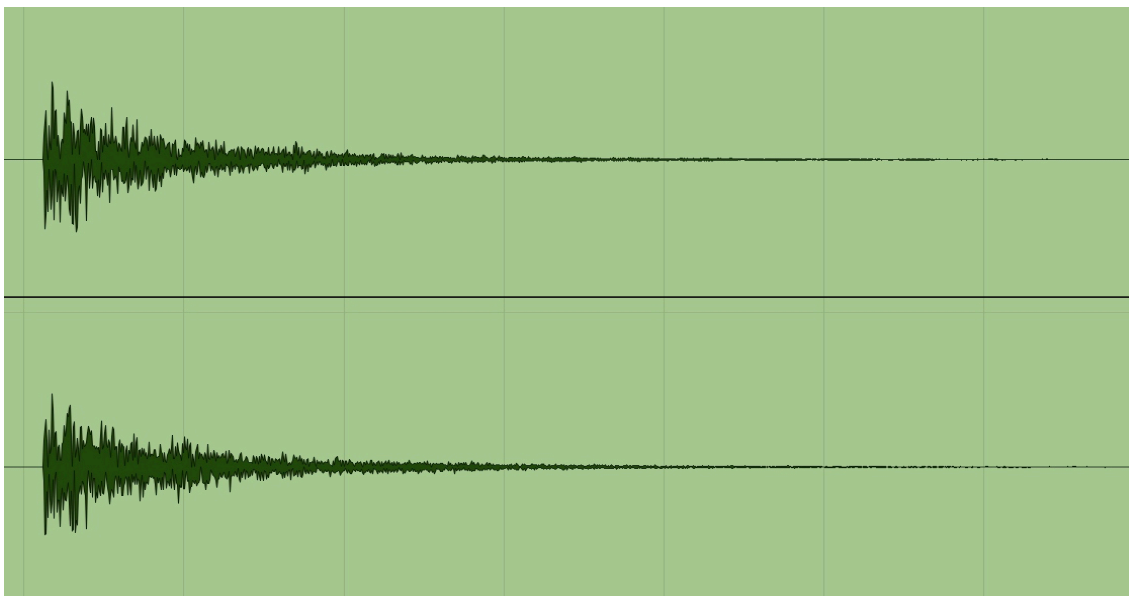
Figur 41. Sång, Organo. Vågform, grupp 7. Förstoring



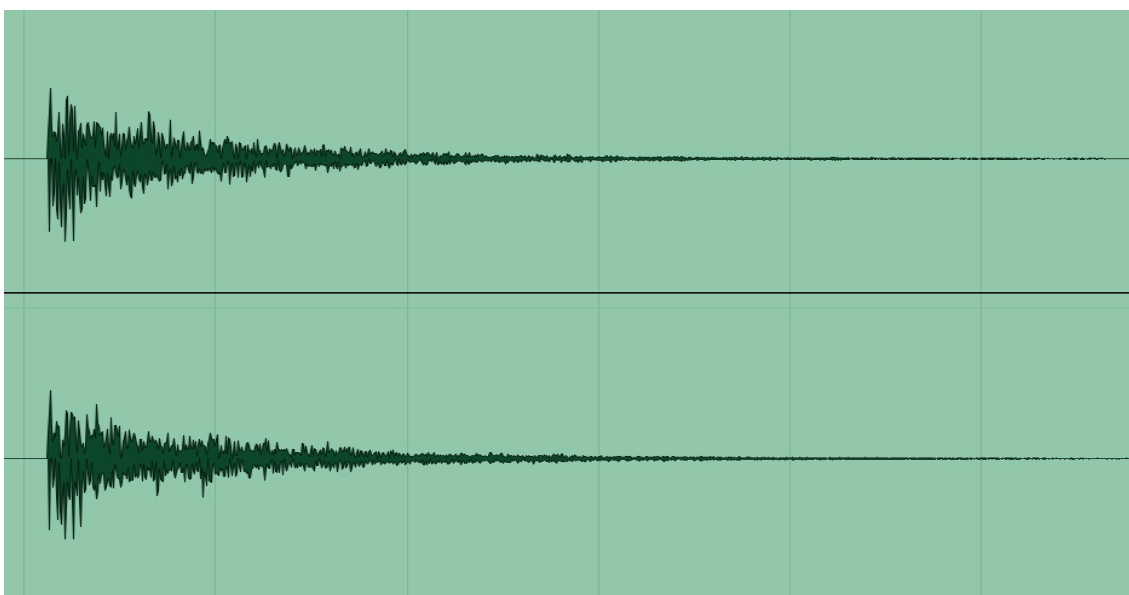
Figur 42. Sång, Altiverb. Vågform, grupp 7. Förstoring

Notering: Jämför de inringade områdena med motsvarande område i den övre bilden.

6.3.2 Vågformsanalys virveltrumma

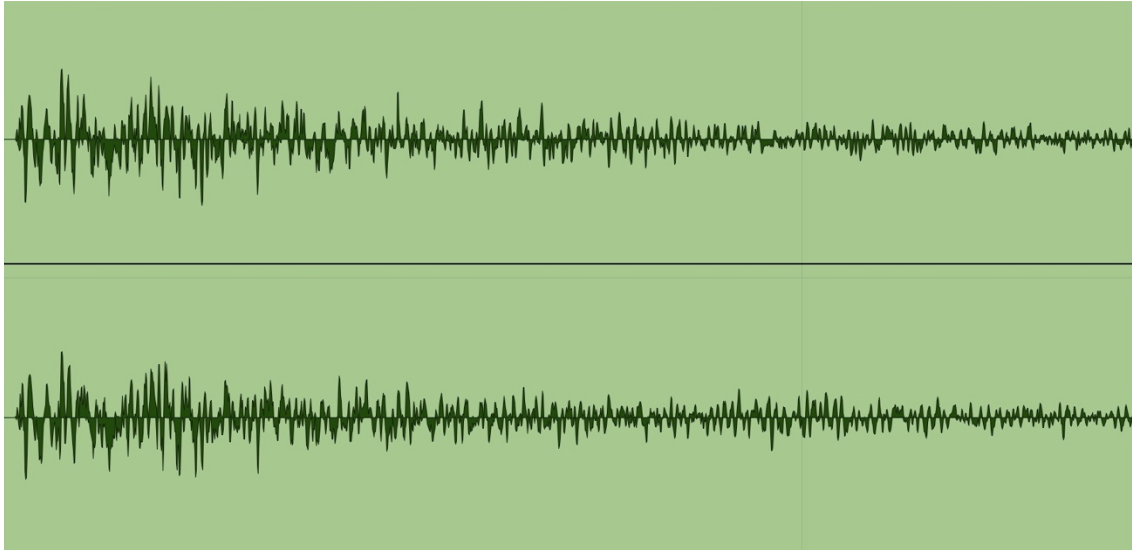


Figur 43. Virvel, Organo. Vågform

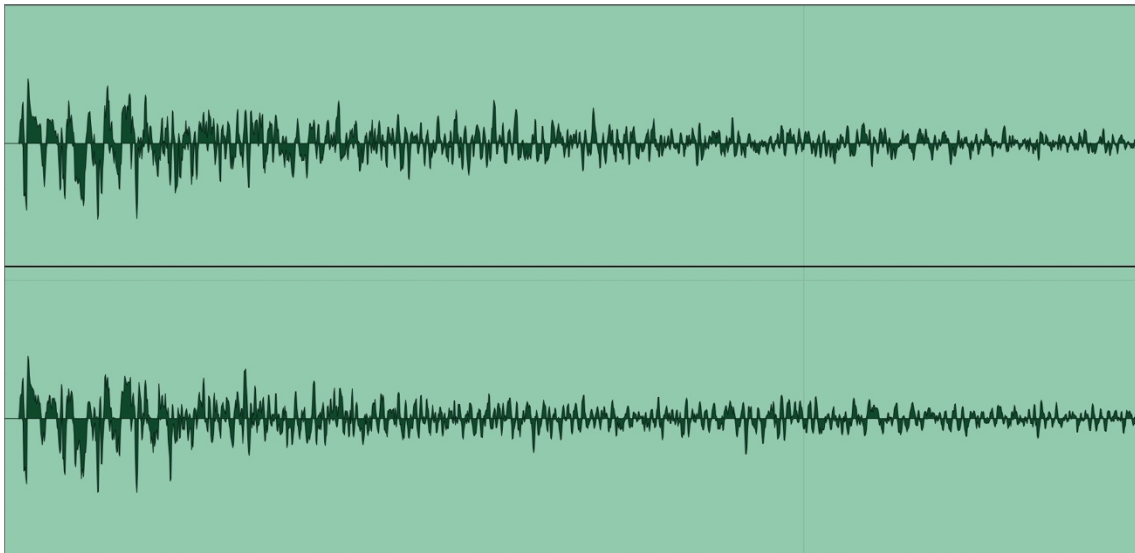


Figur 44. Virvel, Altiverb. Vågform

Jämförelse: De tydligaste skillnaderna syns i topparna i början av ljudklippen. Svansen är lika lång och avtar på samma sätt i båda figurerna.

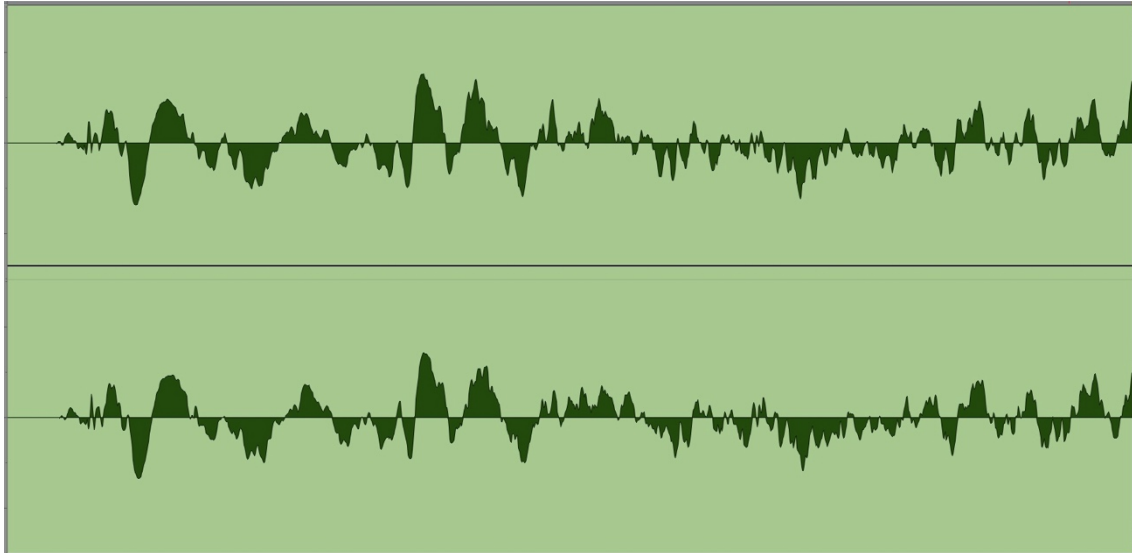


Figur 45. Virvel, Organo. Vågform. Förstoring

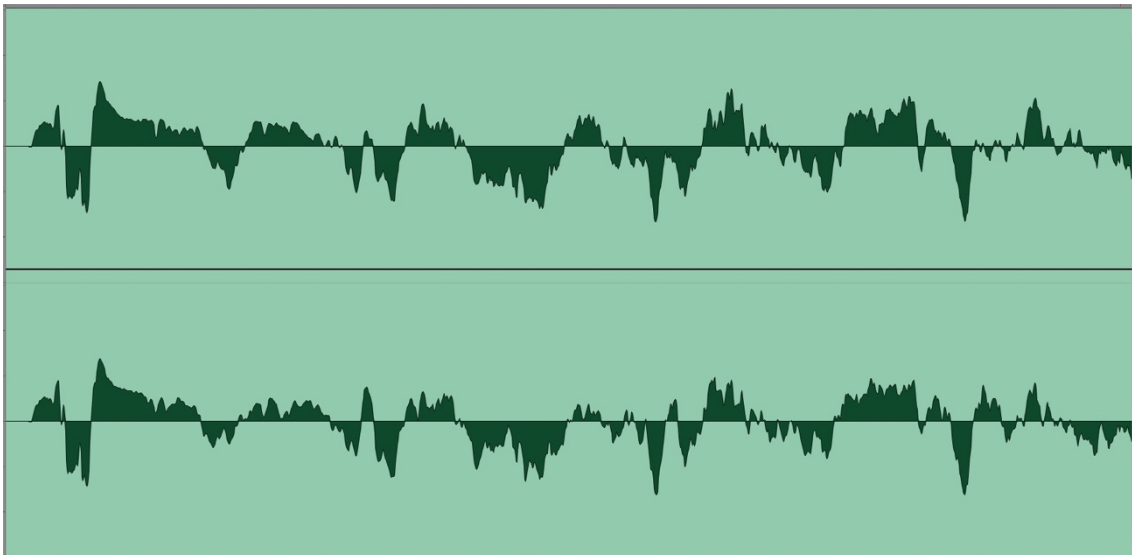


Figur 46. Virvel, Altiverb. Vågform. Förstoring

Jämförelse: Inspelningen från Organo har flera toppar och ett mera komplext mönster i början av klippet vilket återges med enklare vågformer i Altiverb-versionen. Efter de högsta topparna i början ser de båda vågformerna väldigt lika ut.



Figur 47. Virvel, Organo. Vågform. Ytterligare förstoring



Figur 48. Virvel, Altiverb. Vågform. Ytterligare förstoring

Jämförelse: Fast skillnaden inte är överväldigande syns det mera komplexa mönstret i inspelningen från Organo ännu tydligare i de här två bilderna.

7 SLUTSATS

Resultatet av undersökningen gav fyra ljudfiler som låter väldigt lika och som går att urskilja om man har jobbat med dem under hela processen och vet vad man skall lyssna efter. I ett blint test är det däremot främst upp till lyssnaren att göra en kvalificerad gissning. Personligen tycker jag att sånginspelningen från Organo är behagligare att lyssna till eftersom den låter klarare, lättare och rymligare. Altiverb-versionen är något grumligare och efterklngen låter mera klinisk och aningen påklistrad, vilket vetskapen om att den faktiskt är 'påklistrad' säkert bidrar till. Virvelinspelningen från Organo låter mera kontrollerad och har en jämnare botten och topp medan Altiverb-versionen kommer tydligare fram i mitten av frekvensspektrumet och låter lite som att den vill hoppa ut ur högtalarna.

Utgående från resultaten av inspelningarna och vad jag har lärt mig under skrivprocessen kan jag ge svar på frågorna som ställdes i punkt 1.3 enligt följande:

- Kan ett digitalt reverb låta naturligt?

Ett digitalt reverb låter inte naturligt men man kan komma väldigt nära. Ifall inspelningarna i Organo genomförts på ett noggrannare sätt, med en dB mätare som mätt RMS nivån så att ljudklippen och sinussvepet spelats upp på samma nivå, tror jag att resultatet hade blivit ännu bättre och att man kommit undan med mindre ekvalisering.

- Var ligger skillnaderna mellan det naturliga och det artificiella?

Det självklara svaret i detta fall är ljudklippet med den naturliga efterklngen är en enskild inspelning medan den artificiella versionen består av två ljudfiler som satts ihop. Skillnaden ligger också i tydligheten och djupet på efterklngen. Ur en mera allmän synvinkel ligger skillnaderna främst i tekniken bakom de artificiella reverben. Konstruktionen, val av material och elektroniken är avgörande i de analoga reverben medan algoritmerna är den avgörande faktorn i de digitala reverben.

- Vad ger olika typer av reverb dess specifika karaktär? (Se kapitel 3)

KÄLLOR

Böcker

Rossing, Thomas D. 1990. The Science of Sound. Second Edition.

Ryan, Kevin & Kehew, Brian. 2006. Recording The Beatles. The Studio Equipment and Techniques Used to Create Their Classic Albums.

Smith, Steven W. Ph.D. 1997. The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing.

Internet

Accutronics. 2016. The History of Spring Reverberation

Tillgänglig: http://www.accutronicsreverb.com/main/?skin=sub03_01.html

Hämtad 25.4.2016

Audio Ease(a). 2006. Altiverb Press Release

Tillgänglig: <https://www.audioease.com/Pages/Press/AVWindowsPress.html>

Hämtad 25.4.2016

Audio Ease(b). 2015. Sinussvep

Tillgänglig: <https://www.audioease.com/altiverb/sampling.php>

Hämtad 16.12.2015

Caltech. There's Life Above 20 Kilohertz! James Boyk. 1992, 1997.

Tillgänglig: <http://www.cco.caltech.edu/~boyk/spectra/spectra.htm>

Hämtad 27.4.2016

EBU. Tech 3344. Guidelines for distribution and reproduction in accordance with EBU R 128. 2016.

Tillgänglig: <https://tech.ebu.ch/docs/tech/tech3344.pdf>

Hämtad 5.9.2016

EMT 140 Schematics

Tillgänglig:

http://bee.mif.pg.gda.pl/ciasteczkowypotwor/SM%20scena/EMT/EMT_140_with%20schematics%28A%29.pdf

Hämtad 25.4.2016

ITU. Recommendation ITU-R BS.1770-2. 2011.

Tillgänglig: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/bs/R-REC-BS.1770-2-201103-S!!PDF-E.pdf

Hämtad 5.9.2016

Menhorn, Jack. 2012. Designing Sound.

Tillgänglig: <http://designingsound.org/2012/12/emt-140-plate-reverb/>

Hämtad 25.4.2016

Musikhuset. Organo. Akustiken.

Tillgänglig: <https://www.musiikkitalo.fi/sv/spaces/organo>

Hämtad 27.4.2016

Recording Hacks. Neumann U 47

Tillgänglig: <http://recordinghacks.com/microphones/Neumann/U-47>

Hämtad 27.4.2016

Shanks, Will. 2010. The History of EMT and Reverb. Universal Audio.

Tillgänglig: <http://www.uaudio.com/blog/emt-reverb-history/>

Hämtad 25.4.2016

Välimäki, V. Parker, J. Savioja, L. Smith, J. O. & Abel, J.S. 2012. Fifty Years of Artificial Reverberation.

Tillgänglig: <https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/11068/publication6.pdf?sequence=11>

Hämtad 25.4.2016

Waves. Paz Psychoacoustic Analyzer. User Guide

Tillgänglig: <http://www.waves.com/1lib/pdf/plugins/paz-analyzer.pdf>

Hämtad 27.4.2016

White, Paul. 2006. Choosing the Right Reverb. Sound On Sound.

Tillgänglig: <http://www.soundonsound.com/sos/mar06/articles/usingreverb.htm>

Hämtad 25.4.2016

Wikipedia. 2016. A-weighting

Tillgänglig: <https://en.wikipedia.org/wiki/A-weighting>

Hämtad 27.4.2016