

Convolution

Faltung in der Studiopraxis

SAE Wien 2005

Philipp Diesenreiter

BRPS 62003

W84012

Inhaltsangabe

Einleitung.....	4
1: Theorie & Technik.....	4
1.1: Idee hinter Convolution.....	4
1.2: Theoretische Grundlagen.....	7
1.2.1: Sampleweise Faltung.....	7
1.2.2: Schnelle Faltung.....	9
1.3: Umsetzung - Erstellen von Impulsantworten.....	12
1.3.1: Deconvolution.....	12
1.3.2: Sampling.....	13
1.3.2.1: Sampling von realen Räumen.....	13
1.3.2.2: Sampling von Outboardequipment.....	17
1.3.3: Impulsmodellierung.....	18
1.3.3.1: Raytracing.....	18
1.3.3.2: Spiegelquellenmethode.....	20
2: Einsatzgebiete.....	21
2.1: Simulation von Hall.....	21
2.1.1: Einsatz als Effekt.....	21
2.1.1.1: Einsatz in der Musikmischung.....	21
2.1.1.2: Einsatz in der Filmttonmischung und Post-Produktion.....	22
2.1.1.3: Weitere Möglichkeiten.....	23
2.1.2: Auralisation für Raumplanung.....	23
2.2: Simulation von Klangcharakteristiken.....	24
2.2.1: Simulation von Mikrofonen.....	24
2.2.2: Simulation von anderen Schaltungen/Geräten.....	25
2.3: Digitale Filter.....	26
3: Ausgesuchte Prozessoren.....	28
3.1: Hardware oder Software?.....	28
3.1.1: Emagic Spacedesigner.....	30
3.1.2: SIR-Faltungshall Plug-in.....	30
3.1.3: Waves IR1.....	31
3.1.4: Antares Microphone Modeller.....	31
3.1.5: Focusrite Liquid Channel.....	32
4: Vergleich herkömmliches Hallgerät/Faltungshall.....	33

4.1: Versuchsaufbau.....	33
4.2: Ergebnis.....	34
5: Rechtliches.....	36
6: Resümee.....	36

Einleitung

Faltung wird schon seit längerem in der Akustik und der Forschung eingesetzt. Aber erst die steigende Rechenleistung spezieller DSPs und der Heimcomputer ermöglichte in den letzten Jahren den rasanten Einzug von Faltung in Tonstudios.

Diese Arbeit soll die grundlegenden technischen Hintergründe zur Faltung erläutern und im Anschluss daran ihre Anwendungsgebiete und Möglichkeiten speziell im Tonstudio aufzeigen.

Dabei wird auch auf die Erstellung von Impulsantworten von sowohl echten Räumen als auch von verschiedenen Geräten und der künstlichen Erzeugung von Impulsantworten eingegangen.

Im Anschluss daran werden noch einige weiter verbreitete Programme und Hardwaregeräte vorgestellt. Damit soll ein kleiner Überblick über die derzeit am Markt erhältlichen und in Tonstudios anzutreffenden Anwendungen gegeben werden.

Außerdem soll durch einen Hörvergleich gezeigt werden, wie nah man durch gute Impulsantworten an die Hallqualität edler Hardwarehallgeräte herankommt.

1: Theorie & Technik

1.1: Idee hinter Convolution

Zur Zeit vor der Digitaltechnik verwendete man zur Erzeugung von künstlichem Raum elektromechanische Geräte, bei denen meist ein metallischer Resonator mit einem Tonabnehmer aufgenommen und dem Originalsignal zugemischt wurde.¹

Mit dem Beginn der Digitalära versuchte man den Raum mittels verschachtelten Netzwerken aus Delaylines und digitalen Filtern nachzubilden. Damit simulierte man das Verhalten von Schall im Raum, der in den ersten Millisekunden der Schallausbreitung die ersten Male an den Mauern reflektiert/gebeugt beziehungsweise absorbiert wird und sich diese ersten Reflexionen schnell stark verdichten (Nachhall) und diese einzelnen Reflexionen verzögert beim Zuhörer eintreffen.²

¹ Vgl. Groll, Dirk, Hall-Historie/Analoge Hallerzeugung, in: *Keyboards*, 05/2003, S. 24-29.

² Vgl. Groll, Dirk, Hall-Historie/Analoge Hallerzeugung, in: *Keyboards*, 05/2003, S. 24-29

Zusätzlich zu elektromechanischen Geräten und digital nachgebildetem Hall verwendeten manche Tontechniker auch echte Räume um Signale räumlicher zu gestalten. Dabei wurde das trockene Signal abgezweigt und über Lautsprecher in den Hallraum gespielt, wo es mit Mikrofonen wiederaufgenommen und dem Originalsignal zugemischt wurde.

Allerdings sind bei dieser Methode die Gestaltungsmöglichkeiten des Halleindrucks eher gering.³

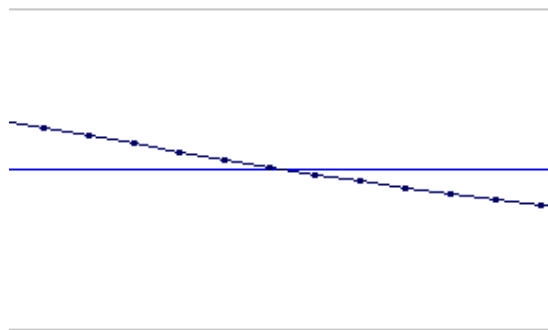
Regt man einen Raum durch einen kurzen (breitbandigen) Impuls an, so hört man einen für diesen Raum charakteristischen Hall, der durch die Geometrie und die Abmessungen des Raumes, seiner Bausubstanz, seinem Interieur und weiteren spezifischen Eigenschaften des Raumes bestimmte Frequenzanteile des Impulses betont oder abdämpft.

Wenn man den Hall nun aufzeichnet, erhält man so die Impulsantwort dieses Raumes. Diese enthält die gesamte Charakteristik eines (linearen) Raumes.

Bei der Technik der Faltung wird nun diese Impulsantwort genützt, um damit beliebige andere Signale durch den mathematischen Prozess der Faltung mit der Impulsantwort zu verknüpfen.⁴

Betrachtet man ein digitalisiertes Signal genauer, so ist es nichts anderes als die Abfolge von einzelnen Samplepunkten. Hört man sich einen einzelnen Samplepunkt an so hört man einen Knacks in einer bestimmten Lautstärke. Die einzelnen Samples eines digitalen Files sind somit eine Abfolge von Knacksen in verschiedenen Lautstärken, ansonsten aber identisch.

Jeder Knacks ist wiederum wie ein Impuls, er regt den Raum an.⁵



(Abb.1): Abfolge von Samplepunkten.

³ Vgl. Groll, Dirk, Hall-Historie/Analoge Hallerzeugung, in: *Keyboards*, 05/2003, S. 24-29.

⁴ Vgl. Sumerauer Andreas, Faltung – Convolution/Folge 1: Grundlagen, in: *Keyboards*, 12/2003, S. 68-71.

⁵ Vgl. Sumerauer Andreas, Faltung – Convolution/Folge 1: Grundlagen, in: *Keyboards*, 12/2003, S. 68-71.

Um ein trockenes Signal mit der Charakteristik eines Raumes zu versehen, könnte man also jeden Knacks mit der entsprechend lauten oder leisen Impulsantwort des Raumes ersetzen. Diese Hallfahnen der einzelnen Samples werden aber nicht hintereinander abgespielt, sondern überlappen sich größtenteils (um je ein Samplewort verschoben).

Somit kann man einem digitalisierten Signal über eine (digitalisierte) Impulsantwort den Charakter eines (echten) Raumes aufprägen.

Der Hall ist somit nicht ein künstliches Modell wie bei der Nachbildung mittels Delaylines sondern (kann) ein tatsächlich existierender (sein).⁶

Diese Methode der Faltung ist aber extrem rechenaufwendig. Bei jedem Sample muss die gesamte Hallfahne in der richtigen Lautstärke abgespielt werden. Mathematisch bedeutet dies, dass jedes Sample der Impulsantwort mit jedem einzelnen Sample des Signals multipliziert werden muss und die Hallfahnen überdies noch sampleweise addiert werden müssen.⁷

„Bei einer Impulsantwort von einer Sekunde Länge und einer Samplerate von 44.1kHz sind zur Ermittlung des verhallten Signals pro Sample 44100 Multiplikationen und genauso viele Additionen auszuführen. Diese Berechnungen müssen also 44100 mal pro Sekunde ausgeführt werden.“⁸

Diese Rechenleistung wird nur von darauf spezialisierten Geräten wie zum Beispiel dem Sony DRE-S777 erbracht. Normale Computer würden daran scheitern diese Operationen in Echtzeit durchzuführen. Man muss also einen anderen, weniger rechenintensiven Weg finden um ein Audiosignal auf ein anders zu falten.⁹

Wenn man das Spektrogramm eines unbehandelten Audiosignals mit dem Spektrogramm eines gefalteten Signals vergleicht, so kann man feststellen, dass dem Audiosignal durch die Faltung keine neuen Frequenzen hinzugefügt werden. Nur schon im Signal vorhandene Frequenzen werden je nach der Intensität mit der sie in der Hallfahne vorkommen verstärkt bzw. abgeschwächt und dabei zeitlich auseinander gezogen.

⁶ Vgl. Sumerauer Andreas, Faltung – Convolution/Folge 1: Grundlagen, in: *Keyboards*, 12/2003, S. 68-71.

⁷ Vgl. Sumerauer Andreas, Faltung – Convolution/Folge 1: Grundlagen, in: *Keyboards*, 12/2003, S. 68-71.

⁸ Vgl. Sumerauer Andreas, Faltung – Convolution/Folge 1: Grundlagen, in: *Keyboards*, 12/2003, S. 70.

⁹ Vgl. Sumerauer Andreas, Faltung – Convolution/Folge 1: Grundlagen, in: *Keyboards*, 12/2003, S. 68-71.

Somit kann also der Prozess der Faltung als eine Multiplikation der in beiden Signalen vorhandenen Frequenzbänder gesehen werden.

Für diese Berechnung müssen zuerst die Signale mittels der Fourier-Transformation in ihren Frequenzbereich gewandelt werden. Danach wird die Multiplikation der Frequenzbänder vorgenommen und das Signal wieder in ein zeitdiskretes Signal umgerechnet.

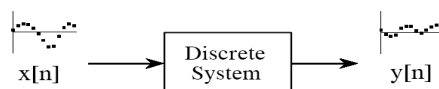
Dieses Vorgehen reduziert die benötigte Rechenleistung so stark, dass sie sogar auf normalen Computern beinahe in Echtzeit und mehrkanalig durchgeführt werden kann. Die Ergebnisse dieser Art der Faltung stimmen mit der aufwendigen sampleweisen Faltung überein. Etwaige Abweichungen im Ergebnis lassen sich durch Rundungsfehler bei der Berechnung erklären. Da sich die Frequenz einer Schwingung durch ihren zeitlichen Ablauf ergibt, benötigt diese „Schnelle Faltung“ eine gewisse Zeit um das Signal zu analysieren und lässt sich somit nicht latenzfrei verwirklichen¹⁰

1.2: Theoretische Grundlagen

Definitionen und Beschreibung der wichtigsten Funktionen in der DSP-Technik in Bezug auf Convolution

1.2.1: Sampleweise Faltung

(*lineares*) System: Ein System ist ein Prozess der auf ein eingehendes Signal (Impuls) mit der Ausgabe eines Signals reagiert. Das Eingangssignal wird in diskreten Systemen (wo wir uns in der Digitaltechnik bewegen) meist als $x[n]$, das Ausgangssignal als $y[n]$ bezeichnet.¹¹



(Abb.2) aus: Smith, Steven W., *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, California Technical Publishing 1997, S.

88.

Impuls: Ein Impuls ist ein Signal, das außer an einer einzigen Stelle aus lauter Nullen besteht.¹²

Delta-Funktion ($\delta[n]$): Die Delta-Funktion ist ein normalisierter Impuls, das heißt dass das erste Sample den Wert 1 hat und alle anderen Samples den Wert 0.¹³

¹⁰ Vgl. Sumerauer Andreas, Faltung – Convolution/Folge 1: Grundlagen, in: *Keyboards*, 12/2003, S. 68-71.

¹¹ Vgl. Smith, Steven W., *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, California Technical Publishing 1997, S. 87 ff.

¹² Vgl. Smith, Steven W., *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, California Technical Publishing 1997, S. 87 ff.

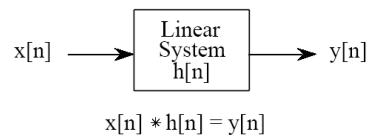
Impulse Decomposition: Eine Methode, um bei diskreten Signalen ein Sample nach dem anderen zu untersuchen und weiterzuverarbeiten. Dazu werden aus dem Original mit N Samples N weitere Signale gebildet, die alle N Samples enthalten. Jedes dieser weiteren Signale enthält ein Sample aus dem Originalsignal und sonst nur Nullen.

Die Decomposition zerlegt also komplexere Signale in einfach zu handhabende Teile.¹⁴

Impulsantwort ($h[n]$): Eine Impulsantwort ist ein Signal das ein System verlässt das eine Delta-Funktion als Input hat.¹⁵

Faltung ist eine mathematische Operation, die für zwei Funktionen $x[n]$ und $h[n]$ eine dritte Funktion liefert, die die „Überlappung“ zwischen $x[n]$ und einer gespiegelten, verschobenen Version von $h[n]$ angibt.¹⁶

Zuerst wird das Eingangssignal „decomposed“, also in Impulse zerlegt, die im Prinzip verschobene und skalierte Delta-Funktionen darstellen. Das Ausgangssignal für jedes dieser Impulse ist also eine verschobene und skalierte Version der ursprünglichen Impulsantwort. Das Ausgangssignal ergibt sich nun aus den addierten verschobenen und skalierten Impulsantworten.



(Abb. 3) Schema der Faltung, aus: Smith, Steven W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing 1997, S.109.

Mathematisch lässt sich die Formel $x[n] * h[n] = y[n]$ (wobei hier das *-Symbol für „Faltung“, nicht für eine Multiplikation steht) auch wie folgt ausdrücken:

$$y[i] = \sum_{j=0}^{M-1} h[j] x[i-j]$$

¹³ Vgl. Smith, Steven W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing 1997, S. 107 f..

¹⁴ Vgl. Smith, Steven W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing 1997, S. 107 f.

¹⁵ Vgl. Smith, Steven W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing 1997, S. 108.

¹⁶ Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Faltung_%28Mathematik%29 [02.02.2005].

Dabei ist $x[n]$ ein Signal mit N Samples, die von 0 bis $N-1$ laufen und $h[n]$ ein Signal mit M Samples von 0 bis $M-1$.¹⁷

1.2.2: Schnelle Faltung (FFT Convolution)

Fourier-Transformation: Jede periodische Schwingung lässt sich in sinusförmige Teilschwingungen zerlegen. Die Fourier-Analyse (benannt nach Jean Baptiste Joseph Fourier (1768-1830), einem französischen Mathematiker und Physiker) beschreibt das Zerlegen eines Signals in Sinus- und Kosinusfunktionen (Fourier-Reihe) und ermittelt also die Frequenzen dieser Teilschwingungen und deren Amplitude mittels mathematischer Gleichungen. Die *Inverse DFT* ist die Umkehrung davon, also die Synthese der Teilschwingungen zu einem zeitdiskreten Signal.¹⁸

Es gibt im wesentlichen drei Arten der Fourier Transformation, die sich durch die Eigenschaften der zu untersuchenden Funktion unterscheiden.¹⁹

- Fourier-Reihe
- Kontinuierliche Fourier-Transformation
- Diskrete Fourier-Transformation

In der Digitaltechnik kommt die *Diskrete Fourier-Transformation* zur Anwendung. Sie behandelt diskrete, periodische (endliche) Signale.

Die zeitdiskreten Signale werden in Blöcke unterteilt, diese über den Algorithmus der DFT in zwei Reihen für jeden Block transformiert, eine davon enthält die Amplituden der Kosinus-Schwingungen (real part), die andere die Amplituden der Sinus-Schwingungen (imaginary part). Beider ergeben das Frequenzspektrum des untersuchten Signals.²⁰

Die *Fast Fourier-Transformation* ist ein Algorithmus (von Cooley und Tukey) zur schnellen Berechnung der Diskreten Fourier Transformation. Sie erreicht diese Beschleunigung durch die Vermeidung der mehrfachen Berechnung sich gegenseitig aufhebender Terme.²¹

¹⁷ Vgl. Smith, Steven W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing 1997, S. 107 ff..

¹⁸ Vgl. Smith, Steven W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing 1997, S. 141 ff.

¹⁹ Vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Fouriertransformation> [02.02.2005].

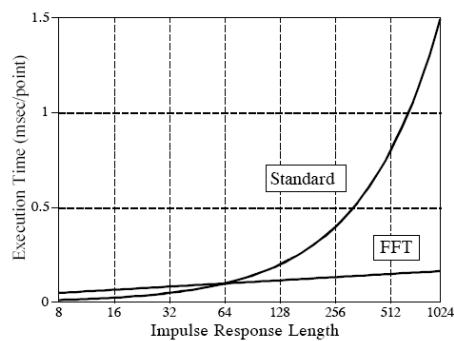
²⁰ Vgl. Smith, Steven W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing 1997, S. 144 f.

²¹ Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Schnelle_Fourier-Transformation [02.02.2005].

Die *FFT Convolution* basiert auf dem Prinzip, dass die Multiplikation im Frequenzbereich mit der Multiplikation im zeitlichen Bereich zusammenhängt.

Mittels der DFT (Diskrete Fourier-Transformation) wird das Eingangssignal in den Frequenzbereich gewandelt, mit dem Frequenzbereich der Impulsantwort multipliziert und mittels der Inversen DFT zurück in den Zeitbereich transformiert. (siehe Abb.5)²²

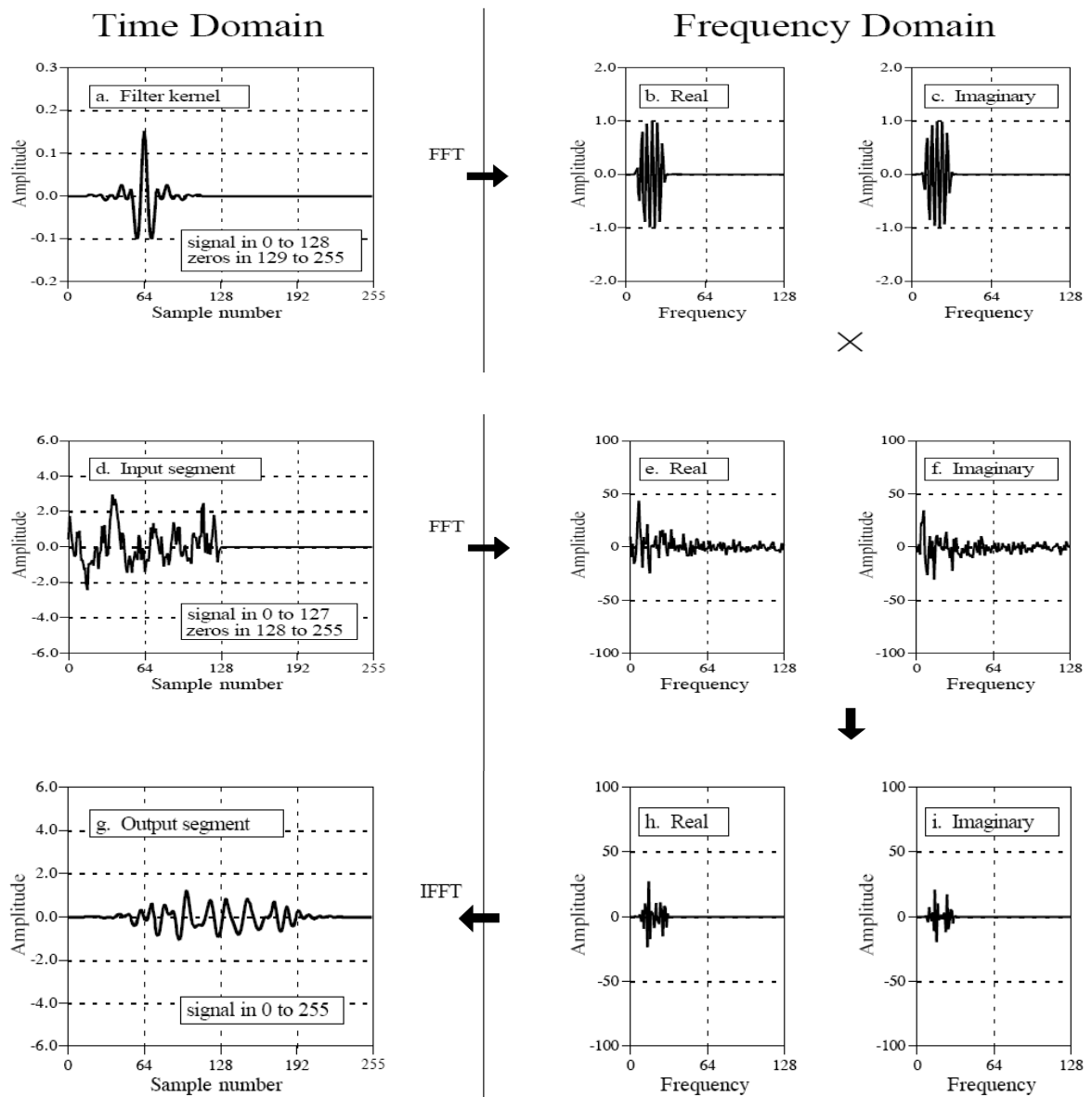
Die Multiplikation im Frequenzbereich ist meist wesentlich weniger rechenaufwendig als die Sampleweise Faltung. Der Rechenaufwand richtet sich dabei nach der Länge der Impulsantwort. Bei kurzen Impulsantworten bis zu 80 Samples ist schnelle Faltung noch langsamer. Bei längeren Impulse Responses steigt der Rechenaufwand bei der Samplegenauen Faltung jedoch steil an, da er proportional mit der Anzahl der Werte der Impulsantwort zusammenhängt. Der Rechenaufwand der schnellen Faltung steigt hingegen nur mit dem Logarithmus der gewählten Blockgröße.²³



(Abb. 4) Rechenaufwand von sampleweiser Faltung im Vergleich zur Schnellen Faltung, aus: Smith, Steven W., *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, California Technical Publishing 1997, S. 318

²² Vgl. Smith, Steven W., *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, California Technical Publishing 1997, S. 147 f.

²³ Vgl. Smith, Steven W., *The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing*, California Technical Publishing 1997, S. 317 ff.



(Abb. 5) Schema der schnellen Faltung, aus: Smith, Steven W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing 1997, S. 315

1.3: UMSETZUNG

Erstellen von Impulsantworten

1.3.1: Deconvolution

Unter Deconvolution versteht man die Umkehrung der Faltung. So wie man über das Falten eines Signals mit einer Impulsantwort dieses Signal mit den Eigenschaften des Systems versehen kann, genauso kann man aus dem Output-Signal wieder die Impulsantwort gewinnen, wenn man das Input-Signal kennt.

Wenn man Faltung als $x[n] * h[n] = y[n]$ ausdrückt, so ist die Deconvolution $y[n] \div x[n] = h[n]$.

Die Deconvolution ist somit ein wichtiges Tool zur Gewinnung von Impulsantworten.²⁴

Ein reiner Impuls ist sehr schwierig zu erzeugen, da er möglichst maximalen Pegel besitzen soll und außerdem nur eine Länge von einem Sample haben sollte. Dies ist in der Praxis kaum genügend genau zu erreichen.

Früher versuchte man tatsächlich, sich diesem Ideal mit Pistolenschüssen oder zerplatzenden Luftballons zu nähern. Diese Methoden sind aber aus einigen Gründen untauglich für gute Impulsantworten.

Zum einen sind reale Räume nicht immer linear. Ein lauter Knall könnte zum Beispiel die Fenster einer Kirche zum Klirren bringen, die bei normalen in der Kirche vorherrschenden Lautstärken ansonst geräuschlos in den Rahmen ruhen. Dieses Klirren würde somit also in der Impulsantwort mitaufgenommen sein und damit gefaltete Signale verunzieren.

Zudem können durch große Lautstärken auch Impulsgeber oder Equipment im Aufnahmeweg verzerren oder in ihrer Linearität beeinträchtigt werden.

Im Sinne eines möglichst großen Signal-Rauschabstandes wäre es darüber hinaus wünschenswert, ein Signal zu finden, das nicht alle Energie und damit alle Information auf einen einzigen Moment zusammengefasst hat. Besser wäre ein Signal das länger dauert, damit man mehr Energie für das Nutzsignal aufwenden kann

Tatsächlich wird heute meist ein Sinussweep verwendet, der innerhalb einiger Sekunden von rund 20hz bis 20khz verläuft.²⁵

²⁴ Vgl. Sumerauer, Andreas, Faltung – Convolution/Folge 2: Impuls – Antwort, in: *Keyboards*, 01/2004, S. 106.

²⁵ Vgl. Sumerauer, Andreas, Faltung – Convolution/Folge 2: Impuls – Antwort, in: *Keyboards*, 01/2004, S. 106.

Man kann sich einen Sweep vorstellen wie einen Impuls, dessen Einzelfrequenzen eine mit steigender Frequenz steigende Verzögerung erfahren. Deshalb nennt man einen Sweep auch TSP (Time Stretched Pulse).²⁶

Da bei der Erzeugung des Hallsignals keine neuen Frequenzen entstehen, kann man sagen dass jede Frequenz im Sweep ihre eigene Hallfahne hat. Die Deconvolution rechnet nun aus diesen Hallfahnen das Inputsignal (den Sweep) heraus und fügt die übrig gebliebenen einzelnen Responses zusammen zum reinen Impulsresponse.²⁷

Einige Convolution-Programme wie zum Beispiel der Emagic Space Designer, Audio Ease Altiverb oder der Acousitic Mirror in Sonys Sound Forge liefern Deconvolver mit, bei anderen wie dem Waves IR1 oder dem Freeware Faltungshall SIR ist man auf externe Lösungen wie dem Voxengo Deconvolver angewiesen, wenn man selber Impulsantworten erstellen will.²⁸

1.3.2: Sampling

1.3.2.1: Sampling von realen Räumen

Eines der für den Tontechniker interessantesten Anwendungsgebiete für die Faltung ist sicherlich das Benutzen von Impulsantworten von realen Räumen für Tonmischungen. Anstatt auf artifiziellen Hall aus digitalen Hallgeräten zurückgreifen zu müssen, um Signalen Räumlichkeit zu verleihen, können Impulsantworten von echten Räumen dazu verwendet werden. Dazu muss diese Impulsantwort aber zuerst erzeugt werden. Dieser Prozess des Raumsamplings ist jedoch relativ aufwendig, wenn man saubere, gut verwendbare Impulsantworten will.

Die prinzipielle Vorgehensweise ist das Aufstellen von zwei Lautsprechern im Raum. Durch diese wird ein Impuls, beziehungsweise bevorzugt ein Sweep geschickt. Ein Stereomikrofonpaar im Raum nimmt diesen Sweep inklusive den dadurch angeregten Raumklang auf ein Medium wieder auf.

Schlussendlich muss das aufgenommene Signal noch deconvolved und schließlich eventuell geschnitten und in ein für die Faltungsanwendung richtiges Format gewandelt werden, da manche nur bestimmte Bitraten, Samplingfrequenzen und Fileformate unterstützen.

²⁶ Vgl. Turnwald, Andreas, Anwendung von Raumimpulsantworten in der Filmmton-Produktion, Düsseldorf (Dipl.) 2002, S. 28

²⁷ Vgl. Sumerauer, Andreas, Faltung – Convolution/Folge 2: Impuls – Antwort, in: *Keyboards*, 01/2004, S. 106.

²⁸ Vgl. Sumerauer, Andreas, Faltung – Convolution/Folge 2: Impuls – Antwort, in: *Keyboards*, 01/2004, S. 106.

In der Praxis gibt es dabei einige Dinge zu beachten.

Zuerst sollte das Wiedergabe- und Aufnahmesystem möglichst linear und hochauflösend sein. Jede Verfälschung in dieser Kette verzerrt den Sweep und verfälscht somit die Impulsantwort bei der Deconvolution.

Zudem muss das gesamte Equipment selbst sehr leise sein. Ein lautes Netzteil oder der Lüfter eines Laptops würden die Aufnahme verschmutzen und zumindest den verwendbaren Hall stark verkürzen, da die Nebengeräusche beim Abklingen der Hallfahne schnell in den Vordergrund dringen würden.

Weiters spielt die Länge des Sweeps eine wichtige Rolle. Je länger der Sweep desto besser ist der Signal-Rauschabstand. Allerdings steigt mit der Länge des Sweeps auch das Risiko von unerwünschten Nebengeräuschen (z.B. Verkehrslärm, Hundegebell,...) bei der Aufnahme, da die gesampleten Räume meist nicht gegen Störschall von Außen adaptiert sind.

Jedes kleine Störgeräusch in der Impulsantwort wird bei der anschließenden Verwendung der Raumantwort vom Inputsignal angeregt und führt somit zu Artefakten im Ausgangssignal.

Um später in der Mischung größtmögliche Freiheiten zu erhalten, ist es von Vorteil, mehrere Mikrofone im Raum zu verteilen und den Raum im Mehrspurverfahren aufzunehmen.

Somit kann man Signale im Mix unterschiedlich im „echten“ Raum verteilen und verhallen, womit eine bessere Auflösung und Tiefenstaffelung der Signale möglich ist.²⁹

Eine oft gewählte Stereotechnik für die Mikrofonierung von Räumen für Stereo-Impulsantworten ist die ORTF-Technik. Dabei werden zwei Nierenmikrofone im Abstand von 17,5 Zentimeter mit einem Öffnungswinkel von 110 Grad aufgestellt. Durch die Ausgewogenheit von Laufzeit- und Intensitätsunterschieden erzielt man mit dieser Technik einen ausgewogenen Klang bei guter Räumlichkeit und Ortung.³⁰

Eine Methode, die auch nachträglich noch sehr viele Freiheiten lässt, ist die Aufnahme des Raumes über ein Soundfield-Mikrofon.

„Beim Soundfield-Mikrofon sind vier Nierenkapseln so angeordnet, dass sie einen auf der Spitze stehenden Tetraeder bilden. Die vier Kapseln können das dreidimensionale Schallfeld nicht nur in der Rechts/Links- und Vorne/Hinten-, sondern auch in der Oben/Unten-Dimension erfassen.“³¹

²⁹ Vgl. Sumerauer, Andreas, Faltung – Convolution/Folge 2: Impuls – Antwort, in: *Keyboards*, 01/2004, S. 106.

³⁰ Vgl. Ederhof, Andreas, *Das Mikrofonbuch*, München, GC Carstensen Verlag 2004, S.207.

³¹ Vgl. Ederhof, Andreas, *Das Mikrofonbuch*, München, GC Carstensen Verlag 2004, S.231.

Die vier Kapseln geben ein Signal aus, das sogenannte A-Format, das mit Hilfe einer Prozessor-Matrix decodiert werden kann. Nach der Dekodierung stehen drei Richtungssignale (X, Y und Z) in Form der Achtercharakteristik bereit sowie ein vom Prozessor erzeugtes Signal mit Kugelcharakteristik (Z). Diese vier Signale nennt man B-Format. Mit geeigneten Prozessoren kann das B-Format weitreichend bearbeitet werden. So ist es möglich, Aufnahmeeigenschaften wie Höhe, Entfernung zur Schallquelle und Richtcharakteristik des Mikrofons im nachhinein zu verändern. Aus nur einer Aufnahmeposition im Raum kann man so verschiedene Impulsantworten generieren.³²

Da man Impulsantworten nicht nur zur nachträglichen Verhallung von Audiomaterial verwendet, sondern unter anderem auch um aus ihnen Informationen über die Akustik eines Raumes zu gewinnen, gibt es verschiedene Vorschläge zur Standardisierung von Raumaufnahmen. Dies würde helfen, Impulsantworten besser miteinander vergleichen und untersuchen zu können.

Es gibt schon einige zum Teil etwas ältere Standards wie ISO 3382 (Standard zur Messung der Nachhallzeit von Räumen mit Hinweis auf andere akustische Parameter). Diese sind allerdings noch oft unbefriedigend, da sich die damit gewonnenen Impulsantworten zum Beispiel nicht für Surround-Anwendungen nutzen lassen.³³

Durch unter anderem auch den Boom an Soft- und Hardware-Prozessoren, die mit der Methode der Faltung arbeiten, ist die Nachfrage nach hochwertigen Impulsantworten stark gestiegen.

Dies bringt auch vermehrte Forschung in diesem Bereich mit sich. In den letzten Jahren gab es mehrere Vorschläge zu Standards zur Erzeugung von Raumantworten.

Ein sehr renommierter Wissenschaftler auf diesem Gebiet ist Prof. Angelo Farina von der Universität Parma (Professor of Environmental Technical Physics). In Zusammenarbeit mit der Firma Waves entwickelte er eine Methode, um Impulsantworten aufzunehmen, die hochqualitativ und vielseitig verwendbar (auch für Mehrkanalanwendungen) sind. Die daraus entstandene Arbeit wurde auch der AES auf der 24. internationalen Konferenz über Multichannel Audio präsentiert.

Prof. Farina schlägt darin folgendes Methode vor:

³² Vgl. Ederhof, Andreas, Das Mikrofonsbuch, München, GC Carstensen Verlag 2004, S.231 ff.

³³ Vgl. <http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Papers/185-AES24.PDF> [13.02.05].

Als Sweep kommt ein Sinussweep von 22hz bis 22khz mit der Länge von 15 Sekunden mit einem logarithmischen Anstieg der Frequenz zu Einsatz. Dieser Sweep erzielt den besten Kompromiss zwischen Signal-Rauschabstand, Länge des Sweep und dem gemessenen Frequenzgang zum Einsatz. Der Sweep wird zusätzlich so entzerrt, dass er den Frequenzgang des Wiedergabesystem linearisiert.³⁴

Das Wiedergabesystem selbst besteht aus einer mit zwölf Full Range Lautsprechern bestückten zwölfseitigen Box, einem Dodekaeder. Zur Unterstützung im Bassbereich findet zudem ein Subwoofer Verwendung. Dieses System strahlt den Schall kugelförmig aus und regt den Raum somit sehr gleichmäßig an.³⁵



(Abb. 6) Dodekaeder mit Subwoofer, aus: Turnwald , Andreas, Anwendung von Raumimpulsantworten in der Filmtone-Produktion, Düsseldorf, (Dipl.) Juli 2002, S. 39.

Als Mikrofone kommen zum einen ein auf einem drehbarem Stativ angebrachter Kunstkopf zum Einsatz. Direkt über dem Kunstkopf befindet sich ein Paar Kleinkondensatormikrofone in ORTF-Anordnung. Ein Meter vor dem Kunstkopf wird ein Soundfield-Mikrofon befestigt. Dieses Stativ mit den Mikrofonen wird nun nach jedem Sweep um zehn Grad weitergedreht und liefert also 36 Sets an Impulsantworten pro ganzer Drehung auf jedem Standpunkt des Stativs.³⁶

Die Signale werden mit 24Bit/96khz über einen guten Wandler mit einem wassergekühlten und daher leisen Rechner aufgenommen.³⁷

Diese Methode baut auf der ISO 3382 Norm auf, verbessert diese aber vor allem in Hinblick auf die Benutzung der Impulsantworten für Surround-Anwendungen und enthält genauere Daten über die akustische Beschaffenheit des Raumes.³⁸

³⁴ Vgl. <http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Papers/185-AES24.PDF> [13.02.05].

³⁵ Vgl. Ebd.

³⁶ Vgl. Ebd.

³⁷ Vgl. Ebd.

Um aber ohne viel Aufwand einen Raum für den eigenen Gebrauch zu sampeln, um diesen in Convolution Prozessoren einzusetzen, genügt es prinzipiell, einen Sweep über ein möglichst lineares Wiedergabesystem mit einem Stereopärchen Kleinkondensatormikrofone an verschiedenen Stellen im Raum aufzunehmen.

1.3.2.2: Sampling von Outboardequipment

Mit weitaus weniger Aufwand lässt sich Outboardequipment sampln.

Es muss nicht immer ein Hallerzeuger sein, dessen Presets man aufnehmen und per Convolution im Rechner zur Verfügung haben möchte. Auch Delays, Kompressoren und Eqs oder andere Prozessoren lassen sich sampeln und ihr besonderer Sound nutzen.

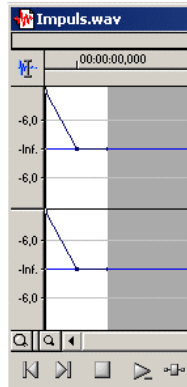
Natürlich kann eine Impulsantwort eines Kompressors nicht das Inputsignal dynamisch bearbeiten. Es lässt sich aber der vielleicht eigene Sound des Gerätes auf dieses Signal aufprägen.

Der Vorgang des Aufnehmens ist hier sehr einfach und schnell erledigt. Man erzeugt einen Sweep und speist diesen in das gewünschte Gerät ein (wichtig bei Reverbs und ähnlichen parallel verwendeten Prozessoren ist es, den Effekt auf 100% wet zu regeln). Über den Ausgang des Prozessors nimmt man nun das Ausgangssignal auf. Anschließend muss nur noch der Sweep deconvolved (da zwar das Ausgangssignal nur aus dem Hall besteht, dieser aber durch den längeren Sweep in die Länge gezogen und auch frequenzmäßig noch „verschachtelt“ ist) und eventuell geschnitten und ins richtige Format gewandelt werden. Sollte das Gerät über digitale Ein- und Ausgänge verfügen, so sind diese zu benutzen, um die sonst nötigen AD/DA-Wandlungen zu umgehen und somit an Klangqualität zu gewinnen.

Hat man keinen geeigneten Sweep zur Verfügung, so kann man beim Sampeln von (besserem) Outboardequipment auch einen Impuls verwenden, da der Signal-Rauschabstand hier meist nicht so problematisch ist wie beim Sampeln eines Raumes (kein Abspielsystem, keine Mikrofone, kein Umgebungslärm) Dazu muss man in einem Sampleeditor wie zum Beispiel Sound Forge ein kurzes, leeres File erzeugen und ein Sample einzeichnen. (siehe Abb. 7) Den Impuls kann man entweder aus der Impulsantwort über die Deconvolution

³⁸ Vgl. <http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Papers/185-AES24.PDF> [13.02.05].

herausrechnen lassen, oder man schneidet ihn einfach ab. Das funktioniert aber nicht bei extrem kurzen Impulsantworten, die zum Beispiel von Equalizer und Kompressoren erzeugt werden.



(Abb. 7) In Sound Forge gezeichneter Impuls.

1.3.3: Impulsmodellierung

In der Akustikplanung ist es wichtig, einen geplanten Raum schon vor dem Bau auf seine Akustik prüfen zu können. Dazu gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die meisten dieser Methoden und die dazu spezialisierten Softwarepakete, sind für den normalen Einsatz im Tonstudio meist nicht zu gebrauchen, da sie von den Bedienoberflächen und den Parametern her für Bauingenieure und Akustiker ausgerichtet sind. Dennoch kann es sehr interessant sein, sich damit zu beschäftigen, da sich auf diesem Weg nicht nur „echte“, sondern auch surreale, in der Wirklichkeit nicht vorkommende Räume schaffen lassen.³⁹

Die zwei wichtigsten Methoden zur Modellierung von künstlichen Impulsantworten sind Raytracing und das Spiegelquellenmodell⁴⁰

1.3.3.1: Raytracing

„Raytracing simuliert die Ausbreitung eines Energie-Impulses. (...) Das Grundelement des Verfahrens ist das Schallteilchen. Diese Schallteilchen werden von einer Quelle in sehr großer Anzahl und mit einer vorgegebenen Richtungsverteilung emittiert. Jedes

³⁹ Vgl. Sumerauer, Andreas, Faltung – Convolution/Folge 3: Auralisation, Hallsynthese, in: *Keyboards*, 03/2004, S. 107 –109.

⁴⁰ Vgl. Sumerauer, Andreas, Faltung – Convolution/Folge 3: Auralisation, Hallsynthese, in: *Keyboards*, 03/2004, S. 107.

Teilchen bewegt sich gemäß den Gesetzen der geometrischen Akustik mit Schallgeschwindigkeit auf geraden Flugbahnen und trägt einen gewissen Energiebetrag einer Schallquelle. (...)

In einem geschlossenen Raum werden die Schallteilchen immer wieder an den Wänden reflektiert. (...) Bei jeder Reflexion kann die Verminderung der Schallenergie durch Absorption berücksichtigt werden. Weiterhin muss geprüft werden, ob das beobachtete Teilchen durch einen der vorher festgelegten Detektoren geflogen ist. Gegebenenfalls werden dort Energie, Laufzeit und Einfallsrichtung registriert. Nach der Verfolgung aller Schallteilchen werden für jeden Detektor Energie-Impulsantworten und integrale raumakustische Parameter (z.B.: Early Decay Time, stationärer Schallpegel,...) berechnet und ausgegeben.“⁴¹

Verschiedene Programme, die mittels Raytracing Impulsantworten generieren, haben unterschiedliche Parametersätze. Die grundsätzliche Vorgehensweise ist aber meist ähnlich. Zuerst muss man die (ebenen) Flächen des gewünschten Raumes angeben. Jede Fläche hat einen bestimmten Absorptions- und Diffusitätsgrad. Eine Wand kann auch aus unterschiedlichen Teilflächen bestehen.

Der Absorptionsgrad gibt an, wie viel Energie des Schallteilchens an der Fläche verloren geht. Dies kann für alle Einfallsrichtungen gemittelt oder je nach Einfallswinkel unterschiedlich angegeben werden.

Der Diffusitätsgrad beschreibt die Aufteilung der Schallenergie in einen gespiegelten oder nach dem Lambert'schen Gesetz (beschreibt die Winkelabhängigkeit der Lichtstärke einer ideal diffus reflektierenden Fläche⁴²) gestreuten Anteil.

Beide Größen sind frequenzabhängig.

Als Schallquelle wird meist eine kugelförmig abstrahlende Quelle verwendet. Das heißt das die Teilchen gleichmäßig im Raum verteilt werden und die gleiche Energie tragen. Als Detektoren kommen meist so genannte Zählkörper zum Einsatz. Das sind Körper, deren Energieempfindlichkeit ähnlich einem Mikrofon mit Kugelcharakteristik richtungsunabhängig ist. An diesen Körpern wird beim Auftreffen eines Teilchens dessen Einfallsrichtung, Energie und Laufzeit vermerkt. Aus diesen in den Zählkörpern ausgewerteten Daten kann das Schallfeld am Zählkörper berechnet und als Impulsantwort gerendert werden.⁴³

⁴¹ Vgl. Heher, Erich, Mathematische Modelle und geometrische Verfahrensweisen in der Raumakustik, Wien, (Dipl.) 1990, S.105.

⁴² http://de.wikipedia.org/wiki/Lambertsches_Gesetz [23.03.2005].

⁴³ Vgl. Heher, Erich, Mathematische Modelle und geometrische Verfahrensweisen in der Raumakustik, Wien, (Dipl.) 1990, S.105 ff.

1.3.3.2: Spiegelquellenmethode

Wenn ein Raum von ebenen Flächen begrenzt ist, kann man die reflektierten Schallanteile durch die Konstruktion von Spiegelschallquellen errechnen. Dazu wird die Schallquelle an jeder Fläche gespiegelt. Dadurch entstehen wieder Spiegelquellen, die erneut an den Flächen gespiegelt werden und somit wieder neue Spiegelquellen schaffen usw.

Dabei erzeugt jede Spiegelquelle das gleiche Signal wie die Originalquelle, aber mit je nach Absorptionsgrad verringerter Energie.⁴⁴

Erzeugt eine Schallquelle einen Impuls, so kommt dieser nach einer gewissen Zeit als Direktschall beim Empfänger an. Die gleichzeitig von den Spiegelquellen erzeugten Signale (Rückwürfe) kommen verzögert und mit geringerer Intensität am Beobachtungspunkt an. Der Empfänger empfängt also bei diesem Modell mehrere Signale aus verschiedenen „virtuellen Quellen“, die für ihn das (diffuse) Schallfeld ergeben.⁴⁵

Auch wenn die Impulsmodellierung zum Teil sehr aufwendig ist und deshalb meist in der Akustik angewendet wird, um in Planung befindliche Bauwerke schon vor dem Bau auf ihre akustischen Eigenschaften zu untersuchen, so bietet sie doch auch in der Praxis im Tonstudio einige Vorteile gegenüber dem Sampling von Räumen.

Zum einen entfällt das aufwendige Samplen des Raumes selbst. Zudem sind manche Räume wegen der vor Ort vorherrschenden Hintergrundgeräusche nicht befriedigend aufzunehmen, beziehungsweise stehen sie nur eingeschränkt oder gar nicht für Aufnahmen zur Verfügung. Weiters ist es durch die Modellierung möglich, nachträglich relativ schnell die Position der Schallquelle zu verändern und damit eine neue Impulsantwort zu generieren.

Mittlerweile gibt es auch schon einige Anwendungen, die speziell für die Arbeit im Studioalltag angepasst sind und schnell und einfach qualitativ hochwertige Impulsantworten modellieren. Dazu gehören zum Beispiel die FIRverb Suite von CATT und das Full Reverb Modul in Adobe Audition. Auch in Emagics Space Designer gibt es eine Impulsmodellierungs-Funktion. Das Programm Rayverb von Prosoniq nutzt Inverses Raytracing, um ausgehend von Impulsantworten zur Impulsantwort passende Räume zu generieren und damit die relativ statische Natur der Faltung zu umgehen.⁴⁶

⁴⁴ Vgl. Heher, Erich, Mathematische Modelle und geometrische Verfahrensweisen in der Raumakustik, Wien, (Dipl.) 1990, S. 27, S. 97 ff.

⁴⁵ Vgl. Heher, Erich, Mathematische Modelle und geometrische Verfahrensweisen in der Raumakustik, Wien, (Dipl.) 1990, S. 27, S. 97 ff.

⁴⁶ Vgl. Sumerauer, Andreas, Faltung – Convolution/Folge 3: Auralisation, Hallsynthese, in: *Keyboards*, 03/2004, S. 108-109.

2: Einsatzgebiete

2.1: Simulation von Hall

2.1.1: Einsatz als Effekt

Das im Tonstudio sicher wichtigste Einsatzgebiet von Faltung ist die Verhallung von Signalen. Da man Hall im täglichen Leben ständig begegnet, nimmt man ihn als Effekt meist gar nicht bewusst wahr. Fehlt der Hall aber, würde das sofort als „unnatürlich“ auffallen.

„Der Raumeindruck ist die Hörempfindung, die man beim Erklängen eines Schallereignisses von dem Raum selbst empfängt. Der Raumeindruck ergänzt die akustische Information, die direkt von der Schallquelle kommt, um wesentliche Informationen über die Umgebung, über Größe und Beschaffenheit eines Raumes. Der Raumeindruck besteht aus mehreren Komponenten: die Empfindung von der Breite und Tiefe eines Raums, von der Raumgröße also, die Empfindung der Halligkeit, die jedes Schallereignis verlängert und mit dem zeitlich folgenden verschmilzt, und die Empfindung der Räumlichkeit.⁴⁷

2.1.1.1: Einsatz in der Musikmischung

Im Tonstudio wird Hall verwendet, um nah mikrofonierte oder künstliche Signale natürlicher klingen zu lassen, um Signale besser in einen Mix einzubetten, ihnen Tiefe zu geben oder als Effekt. So kann man mit Hall Signale „bigger than life“ machen, sie hervorheben oder in der Tiefe staffeln.

Gerade in der Pop und Rockmusik ist es nicht immer erforderlich, einen möglichst realistischen Hall zu generieren. Nicht umsonst sind noch immer analoge Hallfedern oder ältere digitale Hallgeräte im Einsatz, die trotz ihrer Unzulänglichkeiten in punkto Sound und Rauschverhalten bei bestimmten Signalen sehr gut klingen können und ihnen Charakter verleihen. Ist allerdings ein besonders natürlicher Hall erwünscht, so kann ein Faltungshallprozessor mit einer hochwertigen Impulsantwort eines passenden Raumes die besten Ergebnisse erzielen. Während digitale Hallgeräte nur mehr oder weniger realistische Simulationen von Räumen liefern können, liefert eine Impulsantwort den „echten“ Raum.

⁴⁷ Vgl. Dickreiter, Michael, Handbuch der Tonstudioteknik, Band 1, 6. Auflage, K.G.Saur Verlag München, 1997, S. 382.

So ist es nun möglich, ein im Studio trocken aufgenommenes Ensemble nachträglich zum Beispiel mit einer Impulsantwort des Wiener Musikvereinssaals zu versehen. Ein am Sampler programmiertes Orchester kann an Realismus gewinnen, in dem man die Signale gemäß ihrer gewünschten Anordnung im Raum mit Impulsantworten von verschiedenen Positionen des gleichen Konzertsaals versieht.

2.1.1.2: Einsatz in der Filmtone Mischung und Post-Produktion

In der Post-Produktion verwendet man Hall unter anderem, um nachsynchronisierte Dialoge oder Geräusche passend zum Bild in den richtigen Raum zu stellen.

„Räumlichkeit im Ton kann zwei durchaus konträre Mechanismen besitzen:

- Räumlichkeit erzeugt oder spiegelt emotionale Distanz wider zwischen dem Filmzuschauer und dem Schauspieler, was unerwünscht ist oder bewusst gefördert werden kann. Menschen, die klingen, als würden sie dicht an unserem Ohr sprechen, sind uns emotional näher und haben eine größere Persönlichkeitswirkung. (Viele Pop-Musik-Stimmen werden analog dazu mit allen Mitteln so dicht wie möglich gemischt, um größtmögliche Wirkung zu haben.)
- Durch die technischen Möglichkeiten des Surroundformates kann Räumlichkeit aber auch die Einbindung des Zuschauers in die Handlung fördern. Indem uns der akustische Raum der Handlung umgibt, kann sich der Zuschauer am Ort der Handlung fühlen. Nicht der Schauspieler kommt so dicht wie möglich zu uns, sondern wir steigen zu ihm in den Raum. Der Raum befindet sich nicht mehr vorne auf der Leinwand, sondern erweitert sich zu uns und nimmt uns mit hinein. Raumschall in Surround kann also die bekannte Funktionsweise von Atmos annehmen.,⁴⁸

Die akustische Erfahrung des zu auralisierenden Raumes im Film seitens des Zuschauers sollte sich im optimalen Fall mit einem subjektiven Raumgefühl decken.⁴⁹

In den meisten Fällen ist der Raum, der akustisch wahrgenommen werden soll, identisch mit dem Drehort. Anstatt zu versuchen mit einem normalen Hallprozessor diesen Raum im Nachhinein nachzubilden, können Impulsantworten am Drehort aufgenommen werden und für die Filmmischung zum Einsatz kommen.

⁴⁸ Vgl. Tumwald, Andreas, Anwendung von Raumimpulsantworten in der Filmtone-Produktion, Düsseldorf, (Dipl.) Juli 2002, S. 9.

⁴⁹ Ebd.

Es hat sich herausgestellt, dass bei Filmmischungen, bei denen mit Impulsantworten gearbeitet wurde, meist stärker verhallt wurde als bei Mischungen mit herkömmlichen Hallgeräten. So scheint es, dass bei normalem Hall früher die Grenze erreicht ist, bei dem die künstlichen Reflexionen unangenehm auffallen.⁵⁰

Im Versuch in der Diplomarbeit von Andreas Turnwald (2002) stellte sich zudem heraus, dass die Kinobesucher die Filmtönmischungen unter Einsatz von Faltung denen mit herkömmlichen Hallprozessoren gemischten Varianten vorzogen.⁵¹

2.1.1.3: Weitere Möglichkeiten

Ein weiterer nicht zu vernachlässigender Aspekt der Convolution ist, dass man nun durch Impulsantworten von den verschiedensten digitalen und analogen Hallgeräten viele verschiedene Klangfarben zur Verfügung hat, ohne die oft raren und teuren Originale besitzen zu müssen.

Ein weiterer Einsatzzweck wäre das „Klonen“ und somit Vervielfältigen der eigenen Outboardgeräte durch das Absampeln der am öftesten eingesetzten Presets. Bei den meisten Convolution-Plug-ins ist zudem eine Anpassung der wichtigsten Parameter wie Halllänge, Predelay und mehr möglich. Somit kann auch noch nach dem Sampeln das Preset variiert werden und man kann ein vorhandenes Gerät mehrmals gleichzeitig einsetzen, ohne jedes Mal die Spur mit Effekt aufnehmen zu müssen und bei Änderungen dies nochmals durchzuführen.

2.1.2: Auralisation für Raumplanung

Bevor die Faltung Einzug ins Tonstudio hielt, wurde diese Technik schon seit Mitte der 1980er in der Raumplanung eingesetzt.

Um Vorhersagen über die erwartbare Akustik von Konzertsälen, Kongresshallen und Hörsälen treffen zu können, bedienten sich Architekten und Bauingenieure der Synthese von Hall mittels Raytracing und ähnlichen Techniken der Impulsmodellierung und schufen damit so genannte „virtual acoustic environments“ (VAE). Durch die Faltung der erzeugten Impulsantworten mit beliebigem Audiomaterial kann damit hörbargemacht werden, wie verschiedene Signale in diesem Raum klingen werden.

⁵⁰ Vgl. Turnwald, Andreas, Anwendung von Raumimpulsantworten in der Filmtönm-Produktion, Düsseldorf, (Dipl.) Juli 2002, S. 9.

⁵¹ Vgl. Turnwald, Andreas, Anwendung von Raumimpulsantworten in der Filmtönm-Produktion, Düsseldorf, (Dipl.) Juli 2002, S. 46.

Bei der Instandhaltung von alten Gebäuden mit guter Akustik kommt ebenfalls Convolution zum Einsatz. Durch zuvor gemachte Raumsamples kann die Akustik „eingefroren“ und analysiert und bei der Rekonstruktion des Raumklanges als Referenz herangezogen werden. So wurde zum Beispiel das Gran Teatro La Fenice in Venedig, eines der am besten klingenden Opernhäuser der Welt, zwei Monate, bevor es im Jänner 1996 einem Brand zum Opfer fiel, mittels Raumsampling vermessen und seine Akustik auf diesem Weg bewahrt. Beim Wiederaufbau des Opernhauses wurde auf die angefertigten Impulsantworten zurückgegriffen, um sich dem originalen Klangverhalten so gut es ging anzunähern.⁵²

2.2: Simulation von Klangcharakteristiken

Faltung ist eine Technik, die sich sehr vielseitig einsetzen lässt. Sie ist nicht auf die Erzeugung von Hall allein ausgerichtet. Convolution errechnet prinzipiell aus zwei Funktionen (bzw. Signalen) eine dritte Funktion (Signal). Dabei ist es unerheblich, ob eine der Funktionen eine Raumimpulsantwort ist oder ein anderes System, das von einem Inputsignal angeregt wird.

2.2.1: Simulation von Mikrofonen

Ein wichtiges Kriterium von Mikrofonen ist ihr Frequenzgang. Aber nicht nur die Anhebung oder Absenkung bestimmter Frequenzbereiche trägt zum Klangeindruck eines Mikrofons bei. Auch nicht lineare Phasenverschiebungen prägen seinen Charakter.⁵³

Wollte man bei einer Aufnahme mit einem Mikrofon die Charakteristik eines anderen Mikrofons nachbilden, genügt es deshalb nicht, mittels EQ den Frequenzgang anzupassen. Durch Convolution ist es aber möglich, das spezielle Klangverhalten eines Mikrofons nachzubilden. Dazu muss zuerst eine Impulsantwort des Mikrofons erstellt werden. In einem reflexionsarmen Raum wird über ein lineares Wiedergabesystem im Abstand von einem Meter auf der 0° Achse des Mikrofons ein Sinussweep erzeugt und vom Mikrofon aufgenommen. Das aufgenommene Signal wird über die Deconvolution vom Sweep befreit und steht als Impulsantwort des Mikrofons zur Verfügung.

Würde man jetzt das Inputsignal mit der Impulsantwort des gewünschten Mikrofons falten, so würde die Charakteristik dieses Mikrofons auf die Charakteristik des ursprünglich die Aufnahme durchführenden Mikrofons aufgefaltet. Um optimale Ergebnisse erzielen zu

⁵² Vgl. <http://pcfarina.eng.unipr.it/Public/Papers/185-AES24.PDF> [13.02.05].

⁵³ Vgl. Sumerauer, Andreas, Faltung – Convolution/Folge 3: Auralisation, Hallsynthese, in: *Keyboards*, 03/2004, S. 107.

können, muss also auch eine Impulsantwort des ursprünglichen Mikrofons vorliegen. Mittels Deconvolution kann das Originalsignal nun neutralisiert, also vom Charakter des Mikrofons befreit werden, bevor es die Charakteristik des gewünschten Mikrofons übertragen bekommt.⁵⁴

Der Antares Microphone Modeler AMM1 liefert dazu eine ganze Bibliothek an Impulsantworten mit, aus denen Quell- und Zielmikrofone ausgewählt werden können.

Andere Modeler wie das Roland COSM Micorphone Modeling empfehlen ein bestimmtes Mikrofon zur Aufnahme, da dieses als Basis zur Deconvolution dient.⁵⁵

Natürlich kann diese Technik aus einem Shure SM58 kein AKG C12 machen. Ein Mikrofon das nicht so fein auflöst und impulstreu ist, kann dieses Manko nicht durch Faltung gutmachen.

2.2.2: Simulation von anderen Schaltungen/Geräten

Auch bei Outboardequipment abseits von Hall- und Delaygeräten kann es sinnvoll sein, eine Impulsantwort zu generieren. Viele Geräte prägen einem Signal ihren eigenen Sound auf, auch wenn das Signal nur durchgeschliffen und nicht bearbeitet wird. Sei es durch den „Sound“ der Wandler, durch Übertrager in der Eingangs- oder Ausgangsstufe („the sound is in the iron“), durch Röhren im Signalweg oder sonstigen klangbeeinflussenden Schaltungsdesigns und Komponenten der Schaltung.

Die Impulsantwort lässt sich wie in Kapitel 1.2.3.3 beschrieben einfach erzeugen und einsetzen.

Kompressoren und dynamikbearbeitende Effekte sind etwas schwieriger zu sampeln und zu benutzen. Der spezifische Sound eines Kompressor lässt sich wie oben beschrieben sampeln und verwenden. Allerdings kann mit einer Impulsantwort eines Kompressors nicht sein Regelverhalten abgebildet werden.

Die Technik, um dies umzusetzen nennt man „Dynamic Convolution“, also dynamische Faltung. Dabei wird in der Theorie für jede Dynamikstufe eine Impulsantwort generiert. Im Einsatz in der Convolution würde nun für jedes unterschiedlich laute Sample eine andere Impulsantwort gefaltet. Somit kann auch das Verhalten eines Kompressors nachgebildet werden.

⁵⁴ Vgl. Sumerauer, Andreas, Faltung – Convolution/Folge 3: Auralisation, Hallsynthese, in: *Keyboards*, 03/2004, S. 107.

⁵⁵ Vgl. Sumerauer, Andreas, Faltung – Convolution/Folge 3: Auralisation, Hallsynthese, in: *Keyboards*, 03/2004, S. 107.

In der Praxis ist es natürlich kaum möglich, so viele Impulsantworten zu sampeln, und die Rechenleistung heutiger DSPs würde nicht reichen um die Faltung durchzuführen. Wollte man genau sein, würde man für die Bearbeitung eines 16 Bit Signals 65536 Impulsantworten brauchen (und dabei wären im Falle eines Kompressors unterschiedliche Ratio-, Attack- und Release-Einstellungen noch nicht eingerechnet).

Dies kann in der Praxis allerdings nur annäherungsweise geschehen. Der Dynamikbereich der in das zu messende Gerät gesendeten Impulse reicht dabei vom Grundrauschen bis zur Übersteuerungsgrenze. Eines der ersten Geräte, die dynamische Faltung einsetzen, ist der Focusrite Liquid Channel (siehe Kapitel 3.1.5).

2.3: Digitale Filter

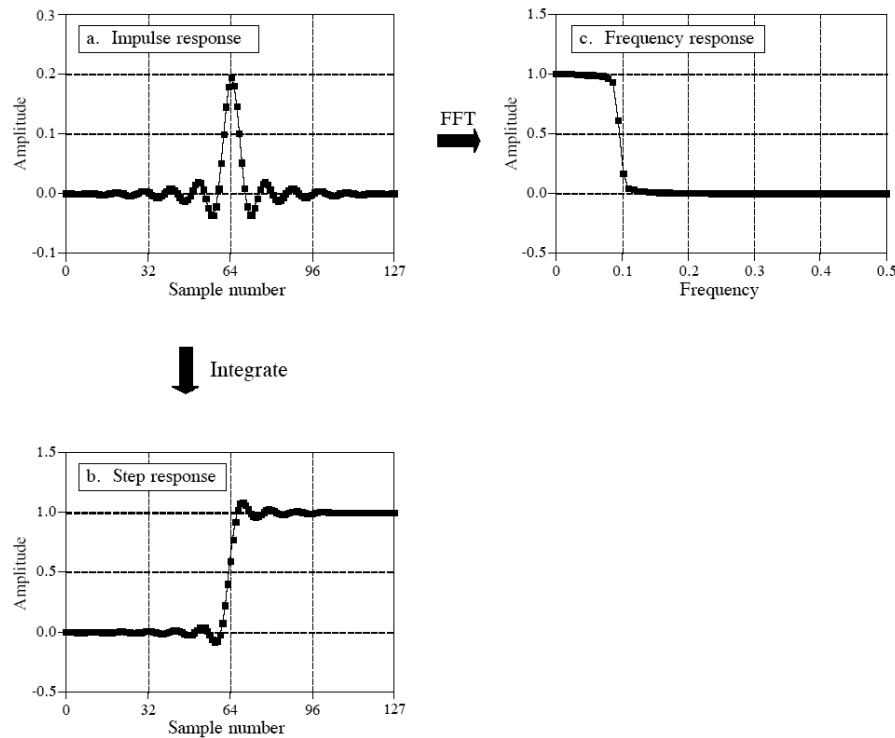
Digitale Filter sind eines der wichtigsten Werkzeuge der digitalen Signalverarbeitung. Die einfachste Art der Implementierung eines Filters ist mit Hilfe der Faltung zu realisieren. Bei dieser Art der Filter handelt es sich um so genannte „FIR-Filter“ (Finite Impulse Response). Jedes lineare Filter (d.h.: die Eigenschaften der Filterung sind nicht vom Pegel des Eingangssignals abhängig; im Gegensatz dazu verzerren nichtlineare Filter das Eingangssignal, da sie die Eigenschaften in Abhängigkeit von dessen Pegel und zeitlichem Verlauf ändern⁵⁶) besitzt eine bestimmte Impulsantwort (impulse response), Ansprechverhalten (step response) und einen bestimmten Frequenzgang (frequency response). Die Impulsantwort eines Filters heißt auch „Filter Kernel“. Jede dieser drei Antworten enthält die gesamten Informationen über das Filter, allerdings in unterschiedlicher Form. Ist eine davon spezifiziert, so sind die anderen zwei bestimmt und können direkt berechnet werden. Integriert man die Impulsantwort, so erhält man das Ansprechverhalten. Die Frequenzantwort kann durch das Umwandeln der Impulsantwort mittels Diskreter Fourier-Transformation gewonnen werden.⁵⁷

In der Digitaltechnik ist Information entweder in der Zeit oder der Frequenzdomäne repräsentiert. In der Zeitdomäne enthält jedes Sample Information zu Zeitpunkt und Amplitude eines Ereignisses, ohne auf einen Bezug zu einem anderen Sample zurückgreifen zu müssen. In der Frequenzdomäne liegt diese Information in der Beziehung der Samples zueinander. Dabei beschreibt das Ansprechverhalten eines Filters, wie die Information

⁵⁶ Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Filter_%28Elektronik%29 [20.03.2005].

⁵⁷ Vgl. Smith, Steven W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing 1997, S. 262 f.

beschrieben durch die Zeitdomäne ein Signal modifiziert und der Frequenzgang, wie ein Signal in der Frequenzdomäne verändert wird.⁵⁸



(Abb. 8) Die Eigenschaften eines Filters sind durch Impulsantwort, Ansprechverhalten und Frequenzgang festgelegt. Aus: Smith, Steven W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing 1997, Seite 263.

Bei der Implementation eines digitalen Filters ist es sehr wichtig, für welche der beiden Methoden zur Beschreibung der Information man sich entscheidet. Gute Ergebnisse in der Frequenzdomäne resultieren in schlechten Ergebnissen in der Zeitdomäne. Bei Signalen, bei denen es um das Aussehen der Wellenform geht, ist beim Filterdesign die Zeitdomäne vorzuziehen. Bei Signalen, bei denen die Information in Amplitude, Frequenz und Phasenlage der einzelnen Sinusschwingungen liegt, liefert die Implementierung in der Frequenzdomäne die meist besseren Ergebnisse. So sollte ein Filter, das zum Beispiel in einem Hörgerät eingesetzt wird, gute Ergebnisse im Frequenzgang erzielen, ein Filter der Störgeräusche aus einem EKG-Signal entfernen soll, wiederum ein gutes Ansprechverhalten aufweisen.⁵⁹

⁵⁸ Vgl. Smith, Steven W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing 1997, S. 265 ff.

⁵⁹ Vgl. Smith, Steven W., The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing, California Technical Publishing 1997, S. 266.

3: Ausgesuchte Prozessoren

3.1: Hardware oder Software?

Die Firma Lake DSP brachte Anfang der 1990er einen Echtzeit-Faltungsprozessor für Forschungs- und Raumakustikanwendungen auf den Markt (Huron Produkt). Die ersten Hardware-Prozessoren die Convolution für den Studiogebrauch boten waren im Jahr 2000 Sonys DRE-S777 und ein Jahr später Yamahas SREV-1.

Bei beiden Geräten ist die Dauer der Impulsantwort auf rund 5,5 Sekunden beschränkt. Zudem bieten sie nur vier Ausgänge, somit sind für echten Surround Hall zwei Geräte notwendig.

Dafür bieten sie hochwertige Wandler und die Möglichkeit Sweeps zu erzeugen.⁶⁰

Mit dem Sony ist es auch möglich, Impulsantworten direkt aufzunehmen. Man braucht also neben zwei Mikrofonen, zwei Preamps und einem Beschallungssystem keine weitere Hardware wie einen sehr leisen Computer und eine hochqualitative Soundkarte, und kann so relativ bequem eigene Impulsantworten erstellen.

Ein Vorteil der Hardware ist ihre Betriebssicherheit und die Möglichkeit, sie autark zu verwenden, da sie nicht auf einen Rechner bzw. ein spezielles Programm angewiesen sind. Somit kann man sie auch in nicht-rechnergestützten Umgebungen verwenden.

In der Akustik und der Forschung setzte man auch schon relativ frühzeitig Software ein. Da die Rechenleistung damals noch sehr gering war, verwendete man Supercomputer für die sampleweise Faltung (in vernünftigem Zeitrahmen) beziehungsweise normale Dos-PCs für die schnelle Faltung. Die Prozesse liefen aber nicht in Echtzeit sondern mussten offline eingerechnet werden. Erst mit steigender Prozessorpower wurde es auch möglich, Faltung im Computer als Studioeffekt schnell berechnen zu lassen oder sie sogar in Echtzeit mit einem Plug-in einzusetzen.⁶¹

Das Acoustic Mirror Modul in Sound Forge war lange Zeit das einzige Plug-in dieser Art, mittlerweile gibt es viele verschiedene Produkte am Markt, einige sogar als Freeware.⁶²

⁶⁰ Vgl. Turnwald, Andreas, Anwendung von Raumimpulsantworten in der Filmtone-Produktion, Düsseldorf, (Dipl.) Juli 2002, S. 87 f.

⁶¹ Vgl. Farina, Angelo, An example of adding spatial impression to recorded music: signal convolution with binaural impulse responses (Abstract), S. 2.

⁶² Vgl. Sumerauer Andreas, Faltung – Convolution/Folge 1: Grundlagen, in: *Keyboards* 12/2003, S. 68.

Softwareeffekte die auf Faltung basieren liegen heute fast immer in Plug-in Form vor, sei es im DirectX, VST, RTAS, HTDM oder AU-Format. Der Vorteil von Plug-ins liegt zum einem in der Möglichkeit, sie mehrmals aufzurufen und zu verwenden. So ist ihre Verwendung nur durch die Leitungsfähigkeit des Rechners beschränkt, auf heutigen Rechnern sind aber mehrere Instanzen kein Problem. Mittlerweile gibt es auch schon einige Plug-ins die echten Surround unterstützen.

Zudem erlauben die meisten Plug-ins wesentlich längere Impulsantworten, teilweise nur durch den zur Verfügung stehenden Speicher und der Rechenleistung des ausführenden Computers beschränkt.

Kommerzielle Faltungshall Plug-ins liefern meist eine mehrere Gigabyte große Library an professionell aufgenommenen Impulsantworten mit, die komfortabel auf der Festplatte des Rechners im Zugriff liegen. Hardwaregeräte wie das Sony-Gerät haben hier weniger Speicher zu bieten, das Austauschen von Impulsantworten ist hier mit mehr Aufwand verbunden.

Fast alle kommerziellen Software Convolution Effekte bieten zudem wie das Sony und Yamaha Gerät eigene Tools zum Erstellen eigener Impulsantworten.

Ein großer Vorteil von Software gegenüber Hardware ist ihre Bedienbarkeit. Anstatt eines kleinen Displays hat man alle Parameter übersichtlich und meist logisch angeordnet am Bildschirm.

Da heutige Sequenzer/DAWs meist vollen Latenzausgleich in den Kanälen und Bussen bieten, ist zumindest beim Mischen die Latenz der Convolution-Plug-ins egal. Bei extern angebundenen Hardwaregeräten muss die vom Gerät erzeugte Latenz (beim Sony z.B. bis zu 8,4ms) eigenhändig ausgeglichen werden. Außerdem bieten einige Plug-ins geringere Latenzen als das Sony- und Yamaha-Gerät.

Falls rechnerbasiert aufgenommen und gemixt wird erspart ein Plug-in in der Sequenzerumgebung zudem zusätzliche Latenzen durch das Raus- und wieder Hineinspielen in den Rechner.

Ein wesentlicher Vorteil von Software gegenüber Hardware ist ihr Preis. Das Sony DER-S777 und das Yamaha SREV1 kosten jeweils über 10000 Euro.

Faltungshall auf Softwarebasis gibt es mit SIR und einigen anderen Plug-Ins sogar gratis, kommerzielle Software mit einer großen Menge an mitgelieferten Impulsantworten kosten meist zwischen 300 und 600 Euro.

Die Nachteile von Software betreffen zum einen ihre Abhängigkeit vom Hostprogramm. Da die Programme nur in bestimmten Umgebungen laufen, ist es unter Umständen schwierig, eine Session woanders weiterzubearbeiten. Bei größeren Projekten kann zudem die Rechenleistung vor allem bei langen Impulsantworten schnell knapp werden. Allerdings schafft hier schon bei vielen DAWs eine Freeze-Funktion Abhilfe, bei der Spuren im Hintergrund gebounced werden und somit Rechenleistung und Speicher freigeben, sich die Spuren aber trotzdem noch in ihrer Lautstärke und anderen Parametern ändern lassen. Darüber hinaus gibt es mittlerweile Plug-ins, die es erlauben, die Berechnung von Effekten auf andere Rechner im Netzwerk auszulagern um somit relativ einfach und billig die Rechenleistung zu erhöhen (z.B. FX Teleport oder Distributed Audio Processing in Apple Logic Pro 7).

3.1.1: Emagic Space Designer

Emagics Space Designer wurde bis zu Logic Pro noch als separates Plug-in für Logic um knapp 600 Euro verkauft. Seit Apple Logic Pro ist es im Sequenzerpaket integriert.

Space Designer war das erste Faltungshall Plug-in, dass es erlaubte, gezielter in die Impulsantwort einzugreifen und somit das Angleichen des Halls auf die eigenen Erfordernisse erleichterte. Dabei handelt es sich nicht um eine vor/nachgeschaltete zusätzliche Effektsektion, sondern greift direkt in die Impulsantwort ein. So wird etwa durch die Änderung der Samplingfrequenz die Dichte der Reflexionen variiert, außerdem ändert sich damit die Größe des empfundenen Raumes.

Eine Besonderheit dieses Plug-ins ist die Möglichkeit, eigene Impulsantworten auf Basis einiger Parameter zu synthetisieren. Darüber hinaus bietet die Software noch die Möglichkeit zur Deconvolution und erleichtert damit das Erstellen eigener Impulsantworten.⁶³

3.1.2: Sir

Sir ist ein Freeware VST Faltungshall Plug-in von Christian Knufinke und ist mittlerweile in der Version 1.008 als Download unter www.knufinke.de/sir erhältlich. Es enthält keine

⁶³ Vgl. Kleinermanns, Ralf, Raumwunder, in: *Keyboards* 12/2003, S.64-67.

Presets und Impulsantworten, im Internet sind aber viele qualitativ hochwertige zu finden (z.B.: <http://noisevault.com/> oder <http://www.echochamber.ch/>).

Sir basiert auf der schnellen Faltung und läuft mit einer fixen Latenz von 8960 Samples. Im Gegensatz zu manch kommerziellen Plug-ins sind die Eingriffsmöglichkeiten relativ beschränkt. So bietet Sir nur die Parameter Predelay, eine einfache Hüllkurve für die Impulsantwort, Attack um den Beginn der Hüllkurve zu verändern, einen Length-Parameter mit dem man die Dauer der Impulsantwort kürzen kann, in dem man sie früher abschneidet, Stretch um die Samplingfrequenz zu ändern, und StereoInL/R, womit die Stereobreite des eingehenden Signals bzw. der Impulsantwort verändert werden kann. Außerdem gibt es noch einen EQ, mit dem man den Frequenzgang der Raumantwort verändern kann, sowie die Möglichkeit diese rückwärts abzuspielen.

3.1.3: Waves IR1

Der Waves IR1 Faltungshall bietet einen erweiterten Parametersatz, dessen Auswirkungen Offline in die Impulsantwort eingerechnet werden. Das Programm ist als VST, AU und HTDM Plug-in erhältlich.

IR1 bietet fast die gleichen Möglichkeiten zum Eingriff in ein Hallprogramm wie ein normaler Hall. Sogar die Dichte und Größe des Hallraumes lässt sich nachträglich verändern, wobei es sehr stark auf die Impulsantwort ankommt, wie gut das Ergebnis klingt.

Außerdem lassen sich Resonanzen in der Impulsantwort verstärken oder abdämpfen.

Eine Besonderheit ist die Qualität der mitgelieferten Impulsantworten, die in Zusammenarbeit mit Prof. Farina entstanden, der eine eigene Methode entwickelte, um echte Räume zu sampeln (siehe Kapitel 1.3.2.1).

3.1.4: Antares Microphone Modeller

Antares Microphone Modeller ist ein auf Faltung basierendes Plug-In für verschiedenste Plattformen, das Mikrofonen den Charakter von anderen Mikrofonen aufprägen kann.

Dazu muss zuerst das Mikrofon angegeben werden, mit dem aufgenommen wurde, damit das Quellsignal vom Charakter dieses Mikrofons durch Deconvolution linearisiert werden kann.

Dazu kann angegeben werden, ob bei der Aufnahme ein Lowcut und welche Richtcharakteristik angewählt war (so das Mikrofon dies bietet). Darüber hinaus kann noch die Distanz zum Mikrofon angegeben werden, damit auch der Nahbesprechungseffekt in die Deconvolution einfließen kann.

Ausgangsseitig kann der gewünschte Mikrofontyp aus einer großen Anzahl an Modellen ausgesucht, sowie Nahbesprechungseffekt, Lowcut und Charakteristik des gewünschten Mikrofons eingestellt werden.

Über den Preserve Source Bass/Treble Button kann man das Eingangssignal aufsplitten, um nur den Bass oder den Höhenbereich mit der Charakteristik eines anderen Mikrofons zu versehen.

Zusätzlich lässt sich das Ausgangssignal auf Wunsch durch die Nachbildung eines Röhrenpreamps routen.

3.1.5: Focusrite Liquid Channel

Beim Focusrite Liquid Channel handelt es sich um einen Channelstrip mit Preamp, Kompressor, EQ und A/D-Wandler. Er entstand in Zusammenarbeit mit der Firma Sintefex, die schon seit dem Jahr 2000 erfolgreich Geräte anbietet, die auf dem von ihnen patentierten Verfahren der dynamischen Faltung basieren. Focusrite verfeinerte das Verfahren und nützt es im Liquid Channel, um Preamps und Kompressoren zu simulieren. Mehr als 40 Preamps und 40 Kompressoren sind mittlerweile als Simulation vorhanden. Zusätzlich gibt es noch einen EQ, bei dem es sich um einen normalen digitalen Entzerrer handelt.

Da gerade Mikrofone sehr unterschiedlich auf verschiedene Vorverstärker reagieren, bietet der Liquid Channel mehr als die reine Simulation durch Impulsantworten. Durch eine hochwertige variable analoge Eingangsstufe ist er in der Lage, seine Impedanz und seinen Signalpfad in Bezug auf Übertrager und Elektronik zu variieren und damit auch die Interaktion zwischen Mikrofon und simuliertem Preamp nachzuahmen.

4: Vergleich herkömmliches Hallgerät/Faltungshall

4.1: Versuchsaufbau

Ziel des folgenden Versuches war es, herauszufinden, inwieweit man sich mit einem mittels Convolution bearbeiteten Signal einem normal verhalltem Signal annähern kann. Der Versuch sollte also klären, ob Impulsantworten von Hallgeräten (Software wie Hardware) diese qualitativ ersetzen können. Da es kaum möglich ist, einen direkten Vergleich zwischen einem künstlich nachgebildeten Raum und der Impulsantwort eines echten Raumes zu ziehen, wurde der Versuch darauf beschränkt, Signale mit von normalen Hallerzeugern erzeugten Impulsantworten zu falten und diese mit direkt durch den künstlichen Hallerzeuger gesendeten Signalen zu vergleichen.

Beim erste Versuchsfile wurde außerdem auch eine Impulsantwort mit einem Impuls generiert, um zu sehen, ob es hörbare Unterschiede zwischen einer mit einem Sweep oder einem Impuls erzeugten Antwort gibt.

Der Impuls wurde in Sonic Foundry Sound Forge 6 gezeichnet (siehe Abb.7). Als Sweep kam ein 24 Sekunden langer Sinussweep mit kurzem Fade In und Out zum Einsatz, der mit dem Voxengo Deconvolver Test Tone Generator erzeugt wurde. Dieses Programm kam auch zum Deconvolver der mit dem Sweep erzeugten Files zum Einsatz. Bei den mit dem Impuls erstellten Impulsantworten wurde nicht deconvolved, sondern der Hall zu 100% wet aufgenommen. Da der Impuls so kurz ist, entstehen hier keine überlappenden Impulsantworten in verschiedenen Frequenzbändern, die deconvolved werden müssten.

Der erste gesamplete Hall wurde von dem Plug-in Waves True-Verb erzeugt. Als Preset kam „Medium Concert 2“ zum Einsatz.

Als Testsignal wurde ein vier-taktiger Drumloop verhallt. Einmal mit dem True-Verb im Insert der Spur, und zweimal mit je einer Instanz von Sir im Insert, das eine Mal mit der von einem Impuls erstellten Impulsantwort, das zweite Mal mit der mit dem Sweep Erzeugten.

Der zweite gesamplete Hall stammt vom TC Electronic M5000 aus dem Studio A der SAE Wien. Er wurde auf einem Gesangssample angewendet. Der Sweep wurde in Pro Tools importiert und in den Channel der Neve geroutet. Über einen Stereo-Aux im Channel wurde der M5000 mit dem Sweep beschickt. Das reine Hallsignal (100% wet) aus dem TC wurde

direkt in Pro Tools wieder aufgenommen. Das gleiche wurde statt mit dem Sweep auch mit dem Gesangssample gemacht.

Das letzte Versuchsfile wurde mit gleicher Prozedur gemacht, diesmal wieder mit dem Drumloop.

Die aufgenommenen Antworten wurden mit dem Voxengo Deconvolver deconvolved und in Sir importiert. Um den Vergleich einfacher zu machen, wurden die Vergleichsfiles ohne direkten Signalanteil in Cubase gebounced und schließlich normalisiert.

Anschließend wurden die fertigen Versuchsfiles in Pro Tools importiert und vier Testhörern, die alle im Bereich Tontechnik tätig sind, vorgelegt. Diese wurden gebeten zu erraten, welche der Files mit Hilfe von Impulsantworten generiert wurden und welche mit normalem Hall. Außerdem sollten sie ihre Schätzung begründen und versuchen, die Unterschiede zwischen den Files mit und ohne Faltungshall zu benennen und Präferenzen nennen.

Die Anordnung der Files:

- 1: Drumsloop durch Waves True Verb verhallt
- 2: Drumsloop mit durch einen Impuls erstellter Impulsantwort von Waves True Verb verhallt
- 3: Drumsloop mit durch einen Sweep erstellter Impulsantwort von Waves True Verb verhallt
- 4: Vocalsample mit Impulsantwort aus dem TC M5000 verhallt
- 5: Vocalsample mit dem TC M5000 verhallt
- 6: Drumsloop mit durch einen Sweep erstellter Impulsantwort vom TC M5000 verhallt
- 7: Drumsloop mit dem TC M5000 verhallt

4.2: Ergebnis

Allgemein wurden die Testfiles relativ unterschiedlich bewertet. Die zwei Testhörern, die schon Erfahrung beziehungsweise Vorwissen von Faltung hatten, versuchten mehr auf die Unterschiede zu hören, von denen sie glaubten, dass sie durch die Faltung mit Impulsantworten im Gegensatz zu herkömmlichem Hall auftreten können.

Das erste File wurde von allen vier Testhörern als etwas dumpfer klingend und eine Kleinigkeit verwaschener wahrgenommen als die beiden mit den Impulsantworten erstellten Files. Dabei kamen ihnen aber die Unterschiede zwischen erstem und zweitem File sehr marginal vor. Das mit dem Sweep erstellte dritte File wurde von allen als etwas heller,

„crisper“, dafür aber auch leicht „bröselig“ empfunden. Die zwei Testhörer, die mit Faltung schon etwas Erfahrung hatten, hätten dieses dritte File als das direkt in Waves erstellte eingeschätzt. Den anderen beiden Probanden gefiel dieses hellere File besser (und fanden es in den Höhen nicht bröselig), und hatten es ebenfalls als das in Waves Erstellte empfunden.

Bei den verhallten Gesangssamples gefiel allen vier Testern auf Anhieb das mit der Impulsantwort erstellte vierte File besser. Das fünfte File, das direkt mit dem M5000 verhallt wurde, erschienen allen als dünner und zu scharf. Hier nahmen alle Probanden an, dass es sich bei dem File, das ihnen besser gefiel, um das Original aus dem M5000 handelt.

Bei den letzten beiden Testfiles gingen die Meinungen ziemlich auseinander. So konnte einer der Testhörer absolut keinen Unterschied zwischen den beiden Files feststellen, einer empfand das mit der Impulsantwort verhallte Signal als eine Spur natürlicher und glaubte es als mit dem M5000 erzeugt. Den beiden anderen Tontechnikern gefiel das Siebte, mit dem M5000 direkt verhallte File besser, sie empfanden es als eine Spur weniger verwaschen und rieten hier auch richtig auf das Original aus dem M5000.

Wie es scheint wird Faltungshall als etwas verwaschenere Ergebnisse bringend eingeschätzt im Vergleich zu normalen Hall.

Grundsätzlich empfanden die Tester die Differenzen bei den unterschiedlich verhallten Drumloops als sehr gering. Bei den Vocals waren die Unterschiede deutlicher hörbar, allerdings bevorzugten hier alle Tester das Ergebnis mit der Impulsantwort.

Aus den Antworten kann somit schwer eine eindeutige Aussage gewonnen werden, welche der beiden Methoden die bessere sei. Das Ergebnis scheint hier vom Eingangssignal wie auch vom gewünschten Hall selbst abzuhängen. Mit dem Sweep erstellte Impulsantworten klingen aber tendenziell ein klein wenig verwaschener als mit einem Impuls erstellte Antworten. Je nach Anwendungsfall kann das angenehmer und runder, also natürlicher wirken, oder auch undefinierter und unsauberer.

Prinzipiell kann man feststellen, dass Faltung erstaunlich gut funktioniert und professionelle Ergebnisse liefern kann und mit entsprechend guten Impulsantworten auch hochwertige und teure Hardwarehallgeräte ersetzen kann. Bei einigen Hallgeräten wie zum Beispiel den Lexicon-Prozessoren, ist es aber relativ schwierig die Lebendigkeit des Halls einzufangen, da diese Teilweise ihre Hallfahne modulieren. Die ist bei Impulsantworten natürlich nur als „Snapshot“ einzufangen und wirkt somit im direkten Vergleich oft statischer.

5: Rechtliches

Inzwischen gibt es eine große Community, die Impulsantworten von meist Hardwareequipment erstellt und diese gratis im Internet zum Download anbietet. Zudem gibt es mittlerweile schon einige kommerzielle Anbieter von Impulsantworten.

Aufgrund des Markenschutzes sind zumindest die kommerziell angebotenen Impulse Responses von Hardwaregeräten und Software meist nicht dezidiert nach den Geräten benannt, von denen sie gesampelt wurden, sondern mit eigenen Namen versehen, die meist auf ihren Ursprung hinweisen.

Ungesichert ist zur Zeit noch, inwieweit das Absampeln von Presets in das Copyright der Hersteller eingreift, bzw. ob dadurch Rechte auf die hallerzeugenden Algorithmen verletzt werden. Durch die schnelle Verbreitung von Faltungsanwendungen ist aber anzunehmen, dass in der nächsten Zeit Hersteller von Hallprozessoren und weiterem Audioequipment versuchen werden, ihre Algorithmen und den ihnen eigenen Sound zu schützen.

6: Resüme

Bei Tontechnikern, die sich noch nicht mit Faltung auseinandergesetzt haben, kann noch eine gewissen Unsicherheit in Bezug auf erwartbare Ergebnisse festgestellt werden, manche halten sie für zu unflexibel oder zu statisch klingend. Trotzdem wird Faltung inzwischen in vielen Tonstudios täglich eingesetzt. Die Hauptanwendung bleibt immer noch das Erzeugen von Hall. Da es inzwischen einige kommerzielle Anbieter gibt, die dem Anwender nicht nur ähnliche Parametersätze wie konventionelle Hallerzeuger bieten, sondern zudem auch eine Fülle an qualitativ hochwertigen Impulsantworten mitliefern, kann Faltungshall im Studio rasch und unkompliziert eingesetzt werden und professionelle Resultate erzielen. Durch die vielen möglichen Anwendungsgebiete erledigt die Faltung auch andere Aufgaben im Tonstudio. Wie man anhand verschiedener Anbieter von Impulsantworten sehen kann, werden auch verstärkt Antworten von Eqs, Kompressoren und sonstigen Tools im Studio verlangt und in der Praxis eingesetzt.

Da das Erstellen eigener Impulsantworten (zumindest von Hall- und anderem Outboardequipment) nicht allzu aufwendig ist, gibt es eine große Community, die selbst

Impulsantworten erzeugt und diese oft gratis zum Download anbietet. Durch die Integration von Deconvolvern in heutige Plug-ins wird dieses Angebot in Zukunft noch steigen.

Dank durchdachter Hard- und Software, die speziell für den Studiobetrieb entwickelt wurde, tritt die Technik hinter der Faltung meist in den Hintergrund und äußert sich heute nur noch durch möglicherweise größere Latenzen und viel benötigter Rechenleistung.