

# Hall – Algorithmen

*Vortrag im Rahmen des Proseminars “Algorithmen,  
Schnittstellen und Werkzeuge zur  
Audiobearbeitung”*

Betreuer: Dr. Gerchard Schrott  
Vorstellende: Ivan Borisov

SS 2003

# Inhaltsverzeichnis

---

Teil I : Einleitung

---

---

Teil II : Hall – Algorithmen

---

1. Was ist Hall?
  - 1.1 Berechnung der Raumimpulsantwort
  - 1.2 Messung der Raumimpulsantwort
2. Erste Reflexionen
  - 2.1 Untersuchungen von Ando
  - 2.2 Gerzon-Algorithmus
3. Diffuser Nachhall
  - 3.1 Schroeder-Algorithmus
  - 3.2 Perfektionierung

---

Teil III : Software zur Raumsimulation

---

---

Teil IV : Hardware zur Raumsimulation

---

---

Teil V : Das Realismus

---

---

Teil VI : Literatur

---

### Teil I : Einleitung

Im jede Moment seines Lebens hört man als Mensch Schall – Geräusch, Sprache, Musik, beeinflusst vom Raum, in dem er ist. Beispielsweise hört sich ein Gesprächspartner in einem Hörsaal völlig anders an als zum Beispiel in einem kleinen Raum oder im Wald.

Wenn man dieses Gespräch oder Musik digital (mit der originalen Klangfülle) aufnehmen möchte, hat man nicht immer den Raum zur Verfügung. Manchmal kann man überhaupt nicht den Raum simulieren. Zum Beispiel die Aufnahme von der Schall einer Flugzeugturbine, wenn sie im Maschinenwesen-Gebäude ist. Dann bräuchte man ein Studio in Form des Gebäudes. Das ist ziemlich mühsam und teuer, deshalb sucht man andere Möglichkeiten.

Die einfachste Idee ist: Man nimmt die Flugzeugturbine in einem Studio, in dem es keinerlei Reflexionen der Schall der Turbine an den Wänden gibt und bannt die Schall. Danach bringt man die gebannte Band in der Maschinenwesen-Gebäude spielt mit einem Abspielgerät das Band ab und nimmt die Schall dort nochmals auf. So hat man das Problem gelöst, aber mit relativ kleinen Einfluss. Deshalb hat man andere Wege gesucht, um Räume mit verschiedener Klangfülle, Größe und Formen möglichst realistisch zu simulieren.

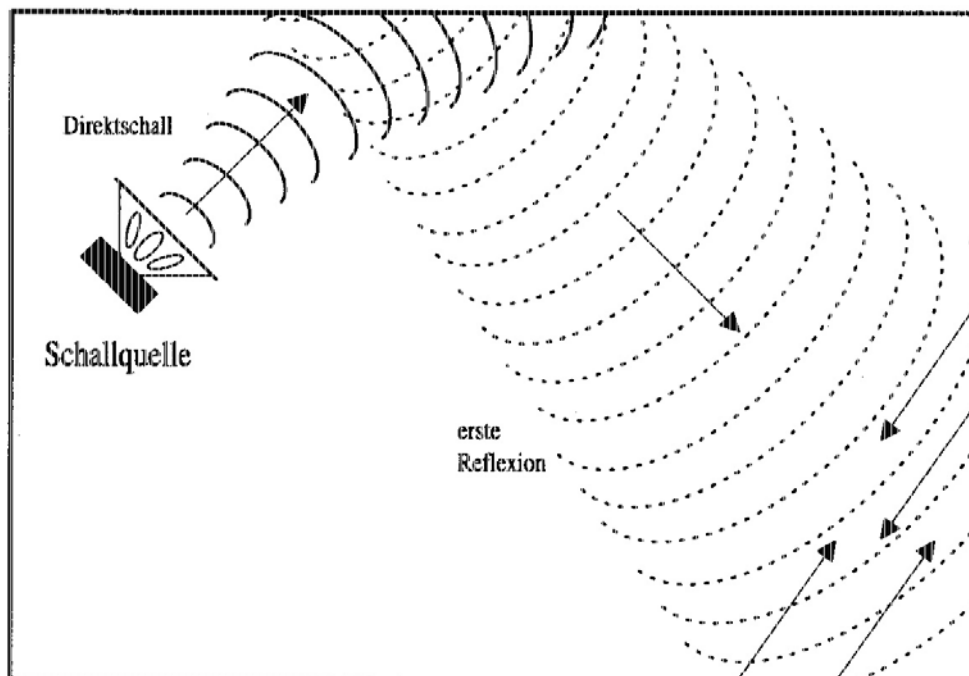
Mit der Anwendung des Computers kann man ein exaktes virtuelles Modell des geplanten Raums vorbereiten und die akustischen Eigenschaften berechnen, so dass er die natürliche Klangfülle des Raumes erreichen kann.

## Teil II : Hall – Algorithmen

### 1. Was ist Hall?

Mit Hall wird ganz allgemein die akustische Reaktion der Umgebung auf die von einer Schallquelle abgestrahlten Schallwellen bezeichnet. Treffen diese auf Grenzflächen wie zum Beispiel die Decke und die Wände eines Raumes oder auf sonstige Hindernisse auf, so entstehen Schallreflexionen – der ursprüngliche Direktschall wird von den Flächen zurückgeworfen und in Diffusschall verwandelt. Diffusschall deswegen, weil sich Schallintensität, Ausbreitungsrichtung, Phasenlage und Klang der reflektierten Schallwellen gegenüber dem Direktschall ändern.

Ähnlich wie reflektierte Lichtstrahlen oder eine Billardkugel, deren Bahn durch Auftreffen auf die Banden bestimmt ist, kann man sich auch den Verlauf einer Schallwelle vorstellen. Allerdings strahlt eine Schallquelle ihre akustische Energie idealerweise immer kugel- bzw. keulenförmig ab, so dass dreidimensionale Verhältnisse gelten. Da zwischen Quelle und den Begrenzungsflächen stets unterschiedliche Entfernungen und Laufzeiten existieren, entstehen eine Vielzahl von zeitlich gestaffelten Erstreflexionen, die durch Überlagerung ein sehr komplexes Schallwellenmuster, das sogenannte Diffusschallfeld bzw. eine „Hall-wolke“, entstehen lassen. Dessen Komplexität wird noch durch die Tatsache gesteigert, dass je nach Schalldruckpegel die vorhandene Schallenergie für mehrere Reflexionen ausreicht, die sich dem nachkommenden Direktschall und dessen Erstreflexionen zusätzlich überlagern.

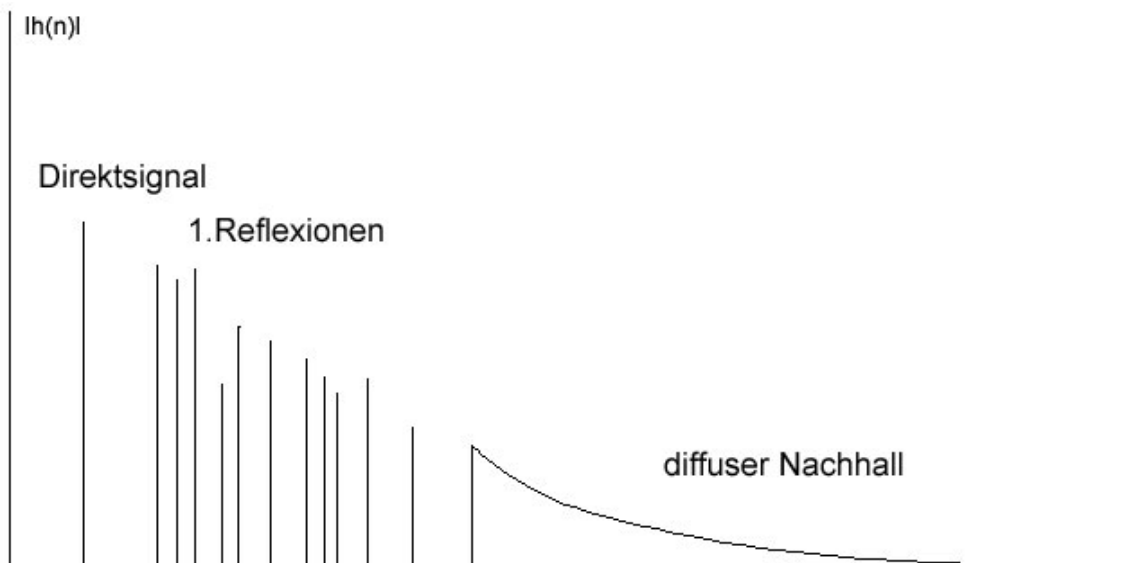


Der Oberbegriff „Hall“ gliedert sich zeitlich gesehen in drei Bestandteile: Wird eine Schallquelle eingeschaltet, baut sich unmittelbar das aus Reflexionen bestehende Diffusfeld auf. Diese Phase wird als „Anhall“ bezeichnet. Abhängig davon, wie schnell und wie laut die ersten Reflexionen beim Zuhörer eintreffen, spricht man von „hartem“ und von „weichem“ Anhall. Harter Anhall mit Verzögerungen unterhalb von 50 ms und lauten Reflexionen fördert die Sprachverständlichkeit und ist überwiegend in kleinen Räumlichkeiten hingegen mehr als 50 ms Laufzeit und kommen beim Zuhörer leiser an, was auf ein grösseres Raumvolumen schließen lässt.

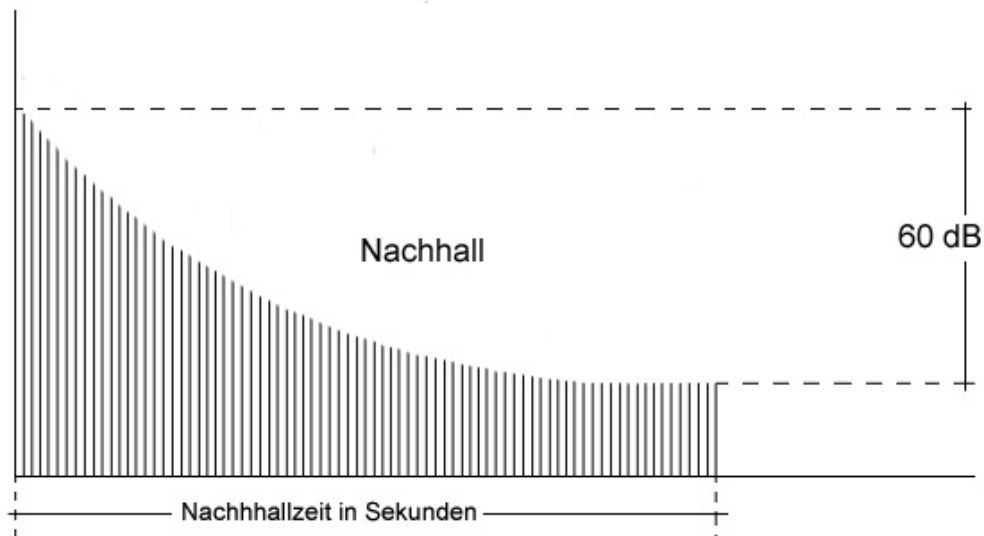
Die Raumreaktion, die andauernde Schallabstrahlung begleiten, heißt dagegen „Mithall“. Ist der Mithall stark ausgeprägt, beeinträchtigt er unter Umständen die Transparenz und die Ortbarkeit des direkten Klangbildes, was in diesem Fall ganz allgemein als „schlechte Akustik“ bezeichnet wird.

Es bleibt schließlich noch der „Nachhall“. Dieser beschreibt den Abklingvorgang der Reflexionen, nachdem die Schallquelle verstummt ist.

Insgesamt bezeichne man den, für einen bestimmten Raum charakteristischen, zurückgeworfenen Schall als Raumimpulsantwort.



Um alle Reflexionen bis zu ihrem völligen Abklingen zu erfassen, muss man statische Meßmethoden einsetzen. Dazu untersucht man den Nachhall in einem Raum und bestimmt seine Nachhallzeit. Als Nachhallzeit wird diejenige Zeit bezeichnet, nach der der Schallpegel um 60 dB gegenüber seinem Anfangswert abgesunken ist.



Die Nachhallzeit ( $T_{60}$ ) läßt sich aus der Geometrie des Raumes und den absorbierenden Flächen innerhalb des Raumes angeben:

$$T_{60} = 0,163 \frac{V}{\alpha S} = \frac{0,163}{m/sec} \frac{V}{\sum_n \alpha_n S_n}$$

$T_{60}$  = Nachhallzeit [sec]

$V$  = Raumvolumen in [m<sup>3</sup>]

$S_n$  = Teilfläche in [m<sup>2</sup>]

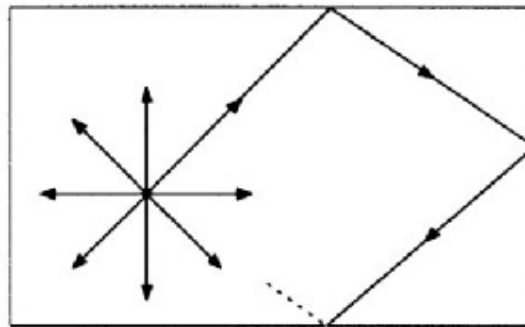
$\alpha_n$  = Schallabsorptionsgrad der Teilfläche  $S_n$

### 1.1 Berechnung der Raumimpulsantwort

Die Verfahren zur analytischen Bestimmung von Raumimpulsantwort basieren auf dem Strahlen-Modell oder dem Spiegelquellen-Modell.

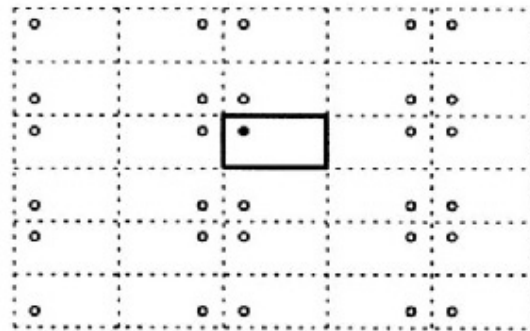
Beim Strahlen-Modell wird von einer punktförmigen und radial abstrahlenden Schallquelle ausgegangen. Es werden die Laufzeiten und die Absorptionfaktoren der Wände, Decken und Böden zur Bestimmung der Raumimpulsantwort herangezogen.

Strahlen-Modell



Für das Spiegelquellen-Modell werden zusätzliche Spiegelräume und Spiegelquellen erhalten. Die Summation über alle Spiegelquellen mit den entsprechenden Laufzeiten und Dämpfungen liefert die geschätzte Raumimpulsantwort.

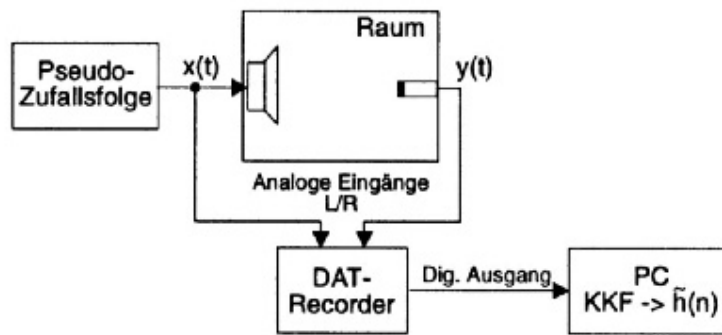
Spiegelquellen-Modell



Beide Verfahren werden in der Raumakustik eingesetzt, um in der Planungsphase von Konzertsälen, Theatern etc. dem Raumakustiker einen Einblick in die akustischen Eigenschaften zu ermöglichen.

## 1.2 Messung der Raumimpulsantwort

Um einen Raum besser simulieren zu können, ist die exakte Kenntnis seiner charakteristischen Raumimpulsantwort Voraussetzung. Die direkte Messung einer Raumimpulsantwort mit einer impulsförmigen Anregung war Ausgangspunkt maßtechnischer Verfahren. Stand der Technik ist heute die Korrelationsmessung von Raumimpulsantworten mit Pseudo-Zufallsfolgen als Signalquelle. Es wird einem Lautsprecher im Raum zugeführt und gleichzeitig am Empfangsort auf einem DAT-Rekorder aufgenommen. Anschließend wird die Impulsantwort durch eine zyklische Kreuzkorrelation ermittelt. Zur Verbesserung der Messung wird eine Mittelung über mehrere Perioden der Kreuzkorrelierten vorgenommen.



Nach der Bestimmung des Raumimpulsantwortes, kann man die Daten zur künstlichen „Erzeugung“ eines Raumes verwenden.

## 2. Erste Reflexionen

Die ersten Reflexionen beeinflussen maßgeblich das Raumempfinden. Der in diesem Zusammenhang benutzte Begriff der Räumlichkeit entsteht durch erste Reflexionen, die seitlich auf den Hörer treffen. Diese Wichtigkeit der seitlichen Reflexionen zur Schaffung von Räumlichkeit wurde von M. Barron („The Subjective Effects of First Reflections in Concert Halls“) entdeckt. Die grundlegenden Untersuchungen von Konzerthallen und deren unterschiedlicher Akustik sind von Ando beschrieben.

### 2.1 Untersuchungen von Ando

Die Ergebnisse der Untersuchungen von Ando sind im folgenden stichpunktartig zusammengefaßt:

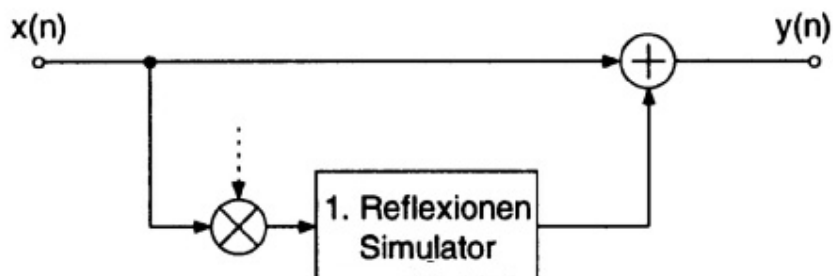
- Bevorzugte *Verzögerungszeit* einer Einzelreflexion: Mit der Autokorrelationsfunktion (AKF) des Signals wird die Verzögerung aus dem Wert  $\Delta t_1$  bestimmt.
- Bevorzugte *Einfallrichtung* einer Einzelreflexion:  $\pm(55^\circ \pm 20^\circ)$ .
- Bevorzugte *Amplitude* einer Einzelreflexion:  $A_1 = \pm 5$  dB.
- Bevorzugtes *Spektrum* einer Einzelreflexion: keine spektrale Bewertung.
- Bevorzugte *Verzögerungszeit einer zweiten Reflexion*:  $\Delta t_2 = 1,8 * \Delta t_1$ .
- Bevorzugte *Nachhallzeit*:  $T_{60} = 23 * \Delta t_1$ .

Diese Feststellungen zeigen, dass für die akustische Wahrnehmung die bevorzugten Reflexionsmuster und die Nachhallzeit entscheidend von dem Musiksignal abhängen, so dass sich für z.B. Klassik, Popmusik, Sprache oder Einzelinstrumente völlig unterschiedliche Anforderungen an die ersten Reflexionen und die Nachhallzeit ergeben.

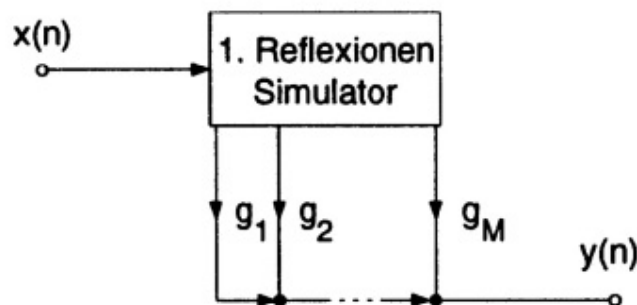


## 2.2 Gerzon-Algorithmus

Eine übliche Vorgehensweise bei der Simulation erster Reflexionen ist: das zu bearbeitende Signal wird amplitudenbewertet einem System zur Erzeugung erster Reflexionen zugeführt und anschließend dem Eingangssignal additiv überlagert:



Die ersten M Reflexionen werden durch Abgriff aus einer Verzögerungskette und Bewertung mit dem entsprechenden Faktor  $g_i$  realisiert:



Die Dimensionierung eines System zur Simulation von ersten Reflexionen soll in Anlehnung an *Craven-Hypothese* und *Abstandsalgorithmus nach Gerzon* dargestellt werden.

**Craven-Hypothese.** Die Craven Hypothese sagt aus, dass im menschlichen Gehirn der Abstand zu einer Schallquelle durch Auswertung der Amplituden- und Laufzeitverhältnisse zwischen dem Direktsignal und der ersten Reflexion gemäß

$$g = \frac{d}{d'} \quad \text{und} \quad T_D = \frac{d'-d}{c} \Rightarrow d = \frac{cT_D}{g^{-1}-1}$$

mit:

$d$  Abstand zur Schallquelle

$d'$  Abstand zur Spiegelschallquelle der ersten Reflexion

$g$  relative Amplitude der ersten Reflexion zum Direktsignal

$c$  Schallgeschwindigkeit

$T_D$  relative Verzögerungszeit der ersten Reflexion zum Direktsignal erfolgt.

Ohne eine erste Reflexion ist der Mensch nicht in der Lage, den Abstand  $d$  zu einer Schallquelle zu bestimmen. Die erweiterte Craven-Hypothese integriert als weiteren Parameter den Absorptionskoeffizient  $r$  in die Bestimmung von  $g$ :

$$g = \frac{d}{d'} \exp(-rT_D) \text{ mit}$$

$$T_D = \frac{d'-d}{c} \rightarrow d = \frac{cT_D}{g^{-1} \exp(-rT_D) - 1} \rightarrow g = \frac{\exp(-rT_D)}{1 + cT_D/d}$$

Mit der Nachhallzeit  $T_{60}$  läßt sich aus der Beziehung  $\exp(-rT_{60})=1/1000$  der Absorptionskoeffizient  $r=(\ln 1000)/T_{60}$  bestimmen. Daraus lassen sich dann die benötigten Parameter für ein System zur Simulation erster Reflexionen bestimmen.

**Abstandsalgorithmus nach Gerzon.** Bei Nutzung eines Systems zur Simulation erster Reflexionen für mehrere Schallquellen wird ein Algorithmus von M. A. Gerzon benutzt. Hiermit werden mehrere Schallquellen sowohl in der räumlichen Tiefe wie auch im Stereo-Bild positioniert. Eine Anwendung dieser Technik ist hauptsächlich in Mehrkanal-Tonmischpulten zu sehen.

Bei einer Verschiebung der Schallquelle um  $-\delta$  (Verkleinerung der relativen Verzögerungszeit) folgt für die relative Verzögerungszeit der ersten Reflexion  $T_D - \frac{\delta}{c} = \frac{d'-(d+\delta)}{c}$  und für die relative Amplitude gemäß:

$$g_\delta = \left[ \frac{1}{1 + \frac{c(T_D - \delta/c)}{d + \delta}} \right] \exp(-r(T_D - \delta/c)) = \left[ \frac{d + \delta}{d} \exp(r\delta/c) \right] \frac{\exp(-rT_D)}{1 + cT_D/d}$$

Dies hat eine Direktsignalverzögerung und einen Amplitudenfaktor für das Direktsignal zur Folge:

$$d_2 = d + \delta$$

$$t_D = \delta/c$$

$$g_D = \frac{d}{d + \delta} \exp(-r\delta/c)$$

Für eine Verschiebung der Schallquelle um  $\delta$  (Vergrößerung der relativen Verzögerungszeit), d.h.  $d$  wird beibehalten und  $d'$  wird verändert, folgt analog für das Effektsignal:

$$t_E = \delta/c$$

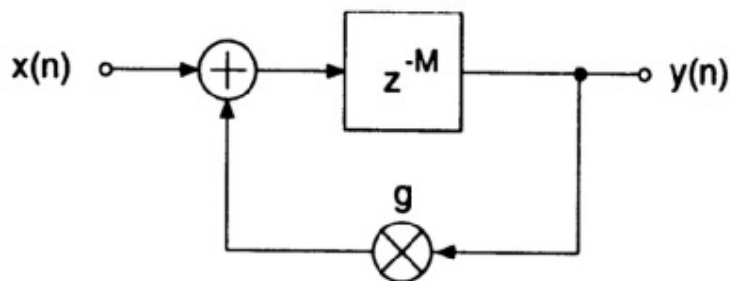
$$g_E = \frac{d}{d + \delta} \exp(-r\delta/c)$$

### 3. Diffuser Nachhall

Hierzu werden die ersten Ansätze von Schroeder beschrieben. Weiterentwicklungen führen auf verallgemeinerte Rückkopplungsnetzwerke, die ein exponentiell abklingendes Zufallssignal als Impulsantwort haben.

#### 3.1 Schroeder-Algorithmus

Die ersten Software-Implementierungen von Raumsimulationsalgorithmen wurden schon 1961 von Schroeder vorgenommen. Als Grundlage zur Simulation einer exponentiell abklingenden Impulsantwort dient das rekursive Kammfilter:



Wobei:  $g$  – Rückkopplungsfaktor  
 $M$  – Delay-Länge

Für die Übertragungsfunktion gilt:

$$H(z) = \frac{z^{-M}}{1 - gz^{-M}} = \sum_{k=0}^{M-1} \frac{A_k}{z - z_k}$$

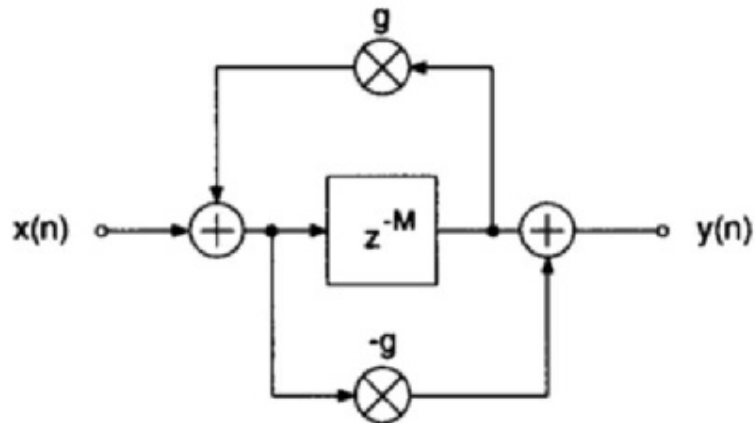
mit

$$A_k = \frac{z_k}{Mg} \quad \text{Residuen}$$

$$z_k = re^{j2\pi k/M} \quad \text{Polstellen}$$

$$r = g^{1/M} \quad \text{Polradius}$$

Eine weitere Grundlage des Schroeder-Algorithmus ist das Allpaßfilter:

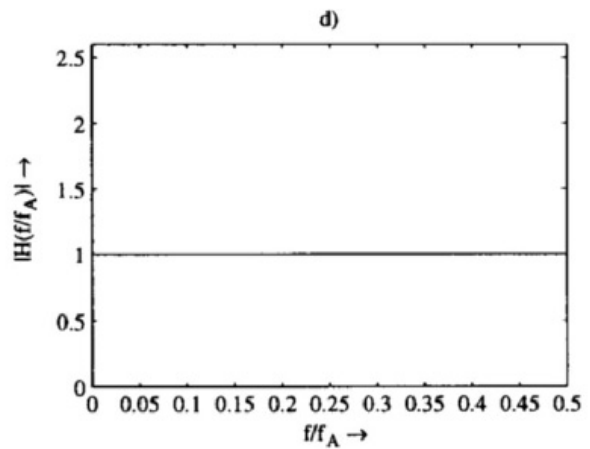
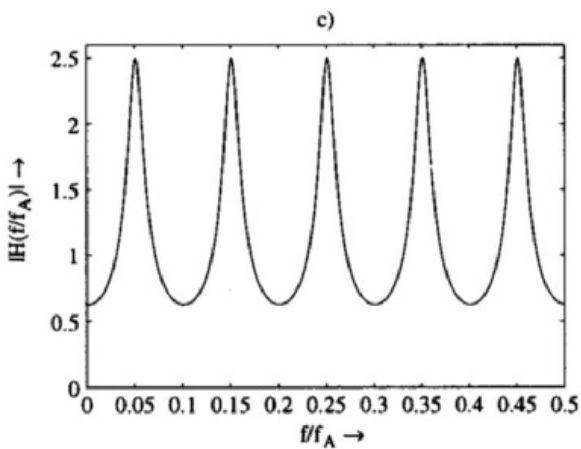
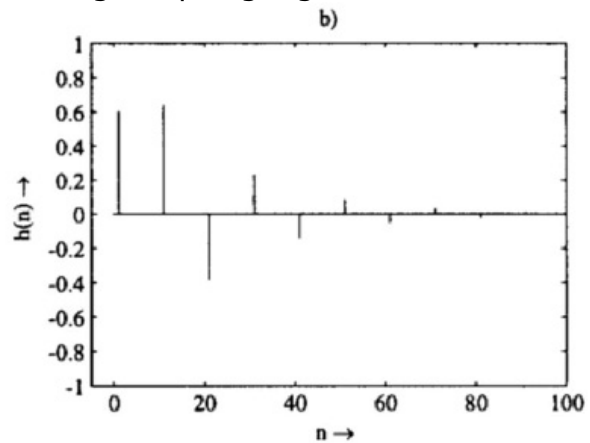
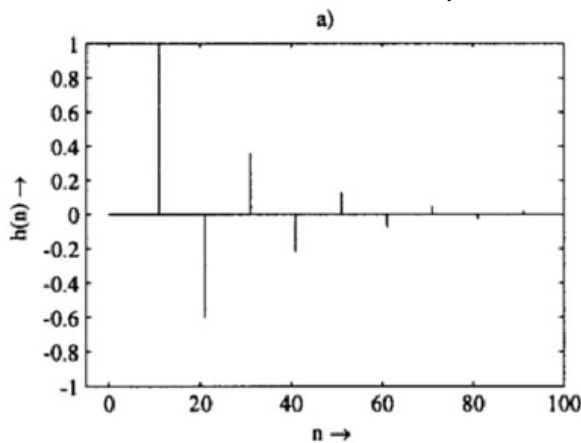


mit der Übertragungsfunktion

$$H(z) = \frac{z^{-M-g}}{1-gz^{-M}} = \frac{z^{-M}}{1-gz^{-M}} - \frac{g}{1-gz^{-M}}$$

Im folgenden Bilder (a, b, c und d) sind nun die Impulsantworten und Betragsfrequenzgänge der beiden Filterarten dargestellt:

- a – die Impulsantwort des Kammfilters ( $M=10, g=0.6$ ).
- b – die Impulsantwort des Allpaßfilters ( $M=10, g=0.6$ ).
- c und d – die entsprechende Betragsfrequenzgänge.



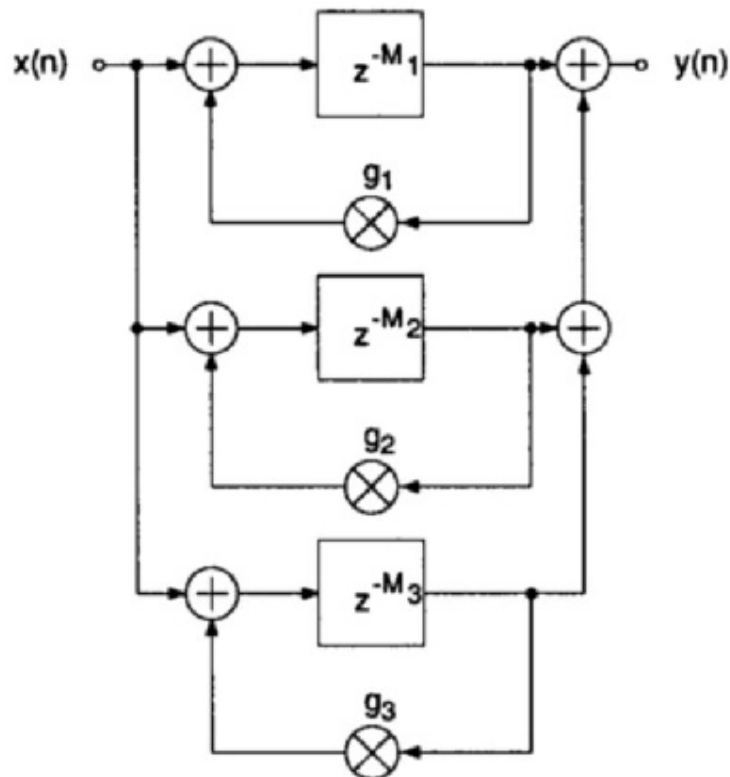
Beide Filter zeigen ein exponentielles Abklingverhalten. Alle  $M$  Abtasttakte erscheint ein Abtastwert in der Impulsantwort. Die zeitliche Dichte nimmt mit fortschreitender Zeit nicht zu. Beim rekursiven Kammfilter erkennt man die spektrale Bewertung durch die Maxima bei den entsprechenden Polstellen der Übertragungsfunktion.

### 3.2 Perfektionierung

**Frequenzdichte.** Die Frequenzdichte bezeichnet die Anzahl der eigenfrequenzen pro Hertz und ist für Kammfilter definiert als

$$D_f = M \cdot T_A \quad [1/\text{Hz}]$$

Zur Erhöhung der Frequenzdichte wird eine Parallelschaltung von mehrere Kammfiltern vorgenommen:

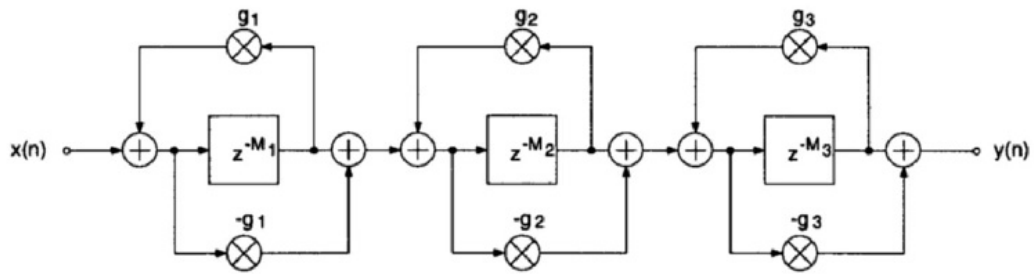


Hierbei müssen die Rückkopplungsfaktoren  $g_i$  sowie die Delaylängen  $M_i$  geschickt gewählt werden. Als passend hat sich hier ein Verhältnis von  $M_1:M_p = 1:1.5$  herausgestellt.

**Echodichte.** Die Echodichte bezeichnet die Anzahl der Reflexionen pro Sekunde und ist für Kammfilter definiert als

$$D_t = M \cdot T_A \quad [1/\text{sec}]$$

Dies geschieht einerseits durch Parallelschaltung von Kammfiltern und zusätzlich noch durch Kaskadenschaltung von Allpaßfiltern:

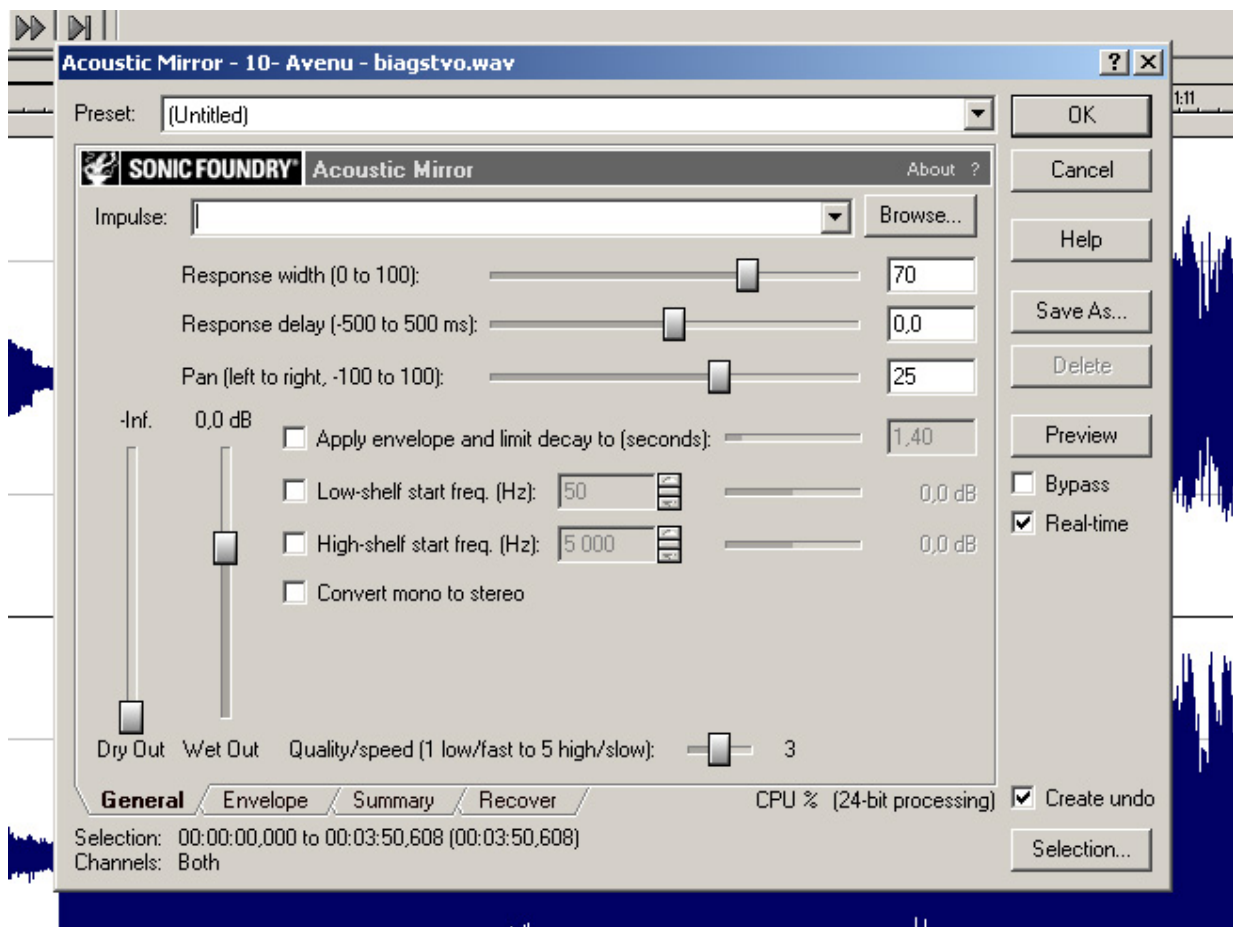


Für eine ausreichende Echodichte sind 10000 Reflexionen pro Sekunde nötig.

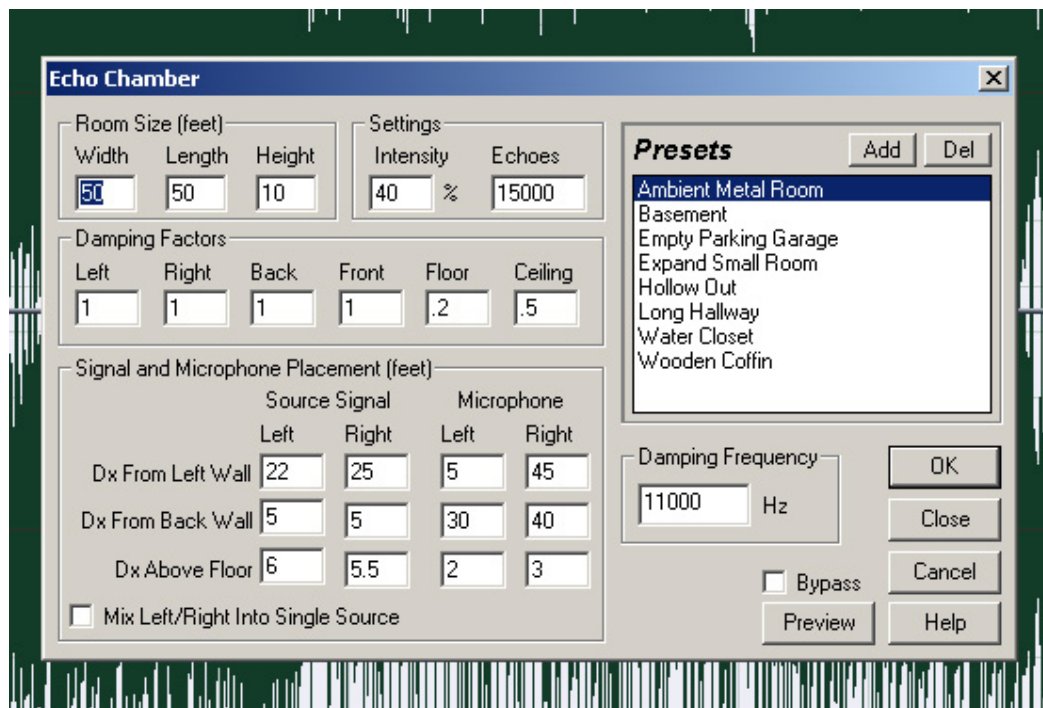
### Teil III : Software zur Raumsimulation

Es gibt viele Programmen und Plug-Ins, die man zur Raumsimulation anwenden kann. Viele von den sind nur für bestimmte Hardware bereit gemacht. Hier sind zwei Beispiele, die mehr mit dem CPU zu tun haben.

**Sonic Foundry Acoustic Mirror.** Der „Sonic Foundry Acoustic Mirror“ ist ein Plug-In des Softwares Sound Forge, das Raumsimulation aufgrund von Meßdaten einer realen Raumimpulsantwort realisiert. Heirzu wird ein vorgegebenes Signal in einem Raum abgespielt und wieder aufgenommen. Aufgrund dieser Daten berechnet das Programm danach die akustischen Eigenschaften dieses Raumes. Später kann dieses Modell zur Berechnung einer Raumsimulation verwendet werden. Das Problem bei dieses Software ist, dass man immer zunächst den realen Raum braucht um gute Aufnahmen zu machen. Sonst kommt die Möglichkeit, man ein entsprechendes Preset zu nutzen. Sonic Foundry Acoustic Mirror liefert allerdings beeindruckende Ergebnisse.



**Cool Edit Pro.** „Cool Edit Pro“ ist ein Soundbearbeitungsprogramm, das eine „Echo Chamber“ enthält, was mit einem virtuellen Hallraum gleichzusetzen ist. Hier gibt es allerdings die Einschränkung, dass es sich immer um einen rechteckigen Raum handelt. Trotzdem kann man den Absorptionsgrad jeder Wand unabhängig steuern, auch die Dimension des Raums, die Position der Signalquelle, des Zuhörers und die Anzahl der Reflexionen (für mehr Realismus) angeben. Mit mehreren Reflexionen kann das Ergebnis länger als beim „Sonic Foundry Acoustic Mirror“ dauern. Die Version 2.0 von „Cool Edit Pro“ kann auch mit den Plus-Ins von „Sound Forge“ arbeiten (zum Beispiel „Sonic Foundry Acoustic Mirror“).





## Teil IV : Hardware zur Raumsimulation

Mit der Erablierung digitaler Signalprozessoren hat sich der elektronische Digitalhall im Studio und ganz besonders auch in der Live-Beschallung zum Hallmedium Nummer eins entwickelt. Hallprozessoren können aufgrund ihrer Leistungsfähigkeit in punkto Rechengeschwindigkeit, Speichergröße und interner Bitbreite heutzutage alle analog-mechanischen Hallsysteme und auch reale Räume simulieren.

**HeimStudio.** Im Heimstudio ist das Budget erfahrungsgemäß wesentlich eingeschränkter, so dass der Kauf einer der genannten „Hall-Könige“ meist ein schöner Traum bleibt. Doch zum Trost sei gesagt, dass ein solches Hallgerät seine Stärken nur voll ausspielen kann, wenn auch der Rest des verwendeten Equipments diesem Standard entspricht. In der mittleren Preisklasse bis 1000 EUR gibt es einige hervorragend klingende Hallgeräte, die auch im Profilager als „Zweithall“ gern gehörte Gäste sind, und dieses Level sollte man sich im Heimstudio als Ziel setzen. Die meisten dieser Geräte bieten neben dem Hall als Haupteffekt auch Multieffekt-Algorithmen, so dass man auch Delays und Modulationseffekte einsetzen kann.



Demgegenüber stehen die preislich nur bei wenigen hundert EUR angesiedelten Preset-Hallgeräte, wie zum Beispiel dbx 290, Lexicon ALEX, Alesis Nanoverb usw., die dem Anwender die üblichen Hall-Charaktere wie „Room“, „Hall“ usw. Vorprogrammiert auf Knopfdruck bereitstellen. Es gibt folglich nicht viele Parameter, die man erstellen kann, meistens läßt sich nur die Nachhallzeit von außen beeinflussen. Gelegentlich stehen auch hier noch weitere Effekte wie Delays oder Chorus zur Verfügung.

Als dritte Gruppe sind noch die Multieffektgeräte im mittleren Preissegment zu nennen. Hier fällt die Programmierbarkeit und die Effektqualität der Hallabteilung zugunsten anderer Effekte, die dann auch gleichzeitig benutzt werden können, entsprechend schmaler aus.

**ProfiStudio.** Professionelle Arbeit benötigt professionelle Geräte! Reine Hallspezialisten der gehobenen Preisklasse verwenden ihre Rechenkapazität ausschließlich zur hochwertigen akustischen Simulation von Räumlichkeit und bieten entsprechend viele Parameter zur Einflußnahme von außen. Diese Geräte eignen sich vornehmlich für Profis, die sich mit der Hallmaterie auskennen, und sind wegen ihrer hohen Klangqualität und nicht zuletzt auch aus

Reputationsgründen aus professionellen Studios heute nicht mehr wegzudenken.



Die relativ hohen Kosten von mehreren tausend EUR pro Gerät schlagen sicherlich zunächst ordentliche Löcher ins Budget, doch andererseits stellen sie auch eine Investition in den Studiobetrieb dar und somit eine weitere Attraktion für Kunden. Auch der Wiederverkaufswert liegt bei hochwertigen und in der Branche geschätzten Hallprozessoren erfahrungsgemäß höher als in niedrigeren Preisgefülden. Etabliert haben sich in den letzten Jahren vor allem Geräte des US-Herstellers Lexicon, nicht nur im klassischen 19"-Gehäuse, sondern auch als Steckkarten-Version (PCM-Serie).

### Teil V : Das Realismus

Um einen Raum realistischer zu simulieren, kann man den Schall auf verschiedene Lautsprecher zu verteilen und so jeweils das passende Signal aus der richtigen Richtung kommen zu lassen. Die verschiedenen Entwicklungen bis hin zu den heutigen Standards sind hier in der Tabelle dargestellt:

1941	„Fantasia“ – der ersten 3-Kanäle Film auf einzelnen 35mm-Filmstreifen
1950	Erstmals 476 Kanäle auf 35/70mm
1958	Stereo LP
1961	Stereo FM-Radio
1970	Dolby B Kasette (Stereo)
1972	Video Kasette (Mono)
1976	Dolby Stereo optisch (4 Kanäle)
1978	Stereo Surround (70mm Magnetband), Stereo Video Kasette
1980	Laser Disk (Stereo)
1982	Compact Disk (Stereo), Dolby Surround (L,R,S)
1986	Stereo Fernsehen
1987	Dolby Surround Pro Logic (L,R,C,S), Dolby SR Optical (L,R,C,S)
1992	Dolby Digital Optical 5.1 (L,C,R,LS,RS,LFE)
1995	Dolby Digital 5.1 auf Laser Disk
1997	Dolby Digital 5.1 auf DVD
1998	Dolby Digital 5.1 TV-Sendungen
1999	Dolby Digital Surround EX 6.1 Optical (L,C,R,LS,BS,RS,LFE)
2000	Dolby Digital 7.1

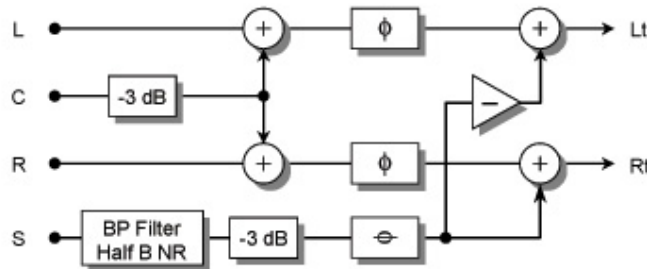
Wobei:

- L – Linker Frontkanal
- R – Rechter Frontkanal
- C – Mittlerer Frontkanal
- S – Surroundkanal
- LS – Linker Surroundkanal
- RS – Rechter Surroundkanal
- BS – Hinterer Surroundkanal
- LFE – Bass Kasse (Low Frequency Effects)

sind.

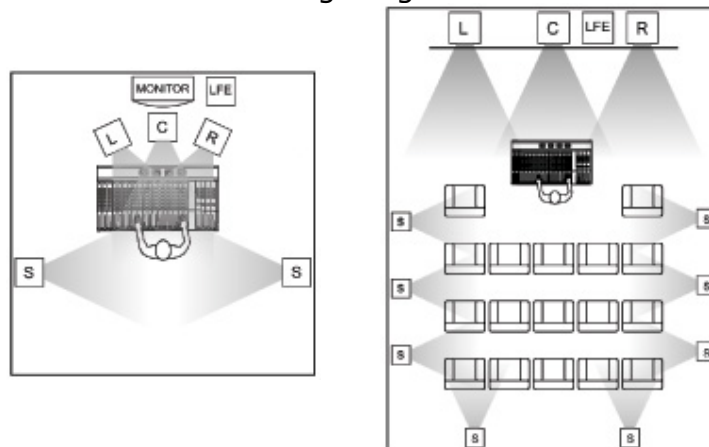
**Dolby Surround Pro Logic.** Das „Dolby Surround Pro Logic“ ist im 1982 Jahr als Audioformat zuerst realisiert. Es ist definiert durch Aufleitung des Audio-Signals in 4 verschiedene Kanäle: Links, Rechts, Mitte (vorne) sowie den Surround-Kanal (mono). Das Format ist voll kompatibel zum Standard-Stereo-Format, d. h. dass

Schall, die in Dolby Surround kodiert sind, auch ohne Probleme oder irgendwelche Verluste auf Stereo-System abgespielt werden können. Die Schall ist kodiert nach die Kodierungs-Schema:



Die Kanäle L und R werden wie im Standard-Stereo auf zwei Spuren verteilt. Das Center-Signal wird einfach auf beiden Spuren exakt gleich abgelegt, so dass es im Stereo-Bild in der Mitte erscheint und durch einen Dolby-Surround-Dekoder als Center-Signal erkannt wird und an den entsprechenden Lautsprecher geleitet werden kann. Ähnlich wird mit dem Surround-Kanal verfahren. Dieser wird auf dem linken Kanal im Original abgelegt und auf dem rechten Kanal invertiert. Durch diese Maskierung des Dolby-Surround-Signals in einem einfachen Stereo-Format ist das Format sowohl Stereo- als auch Mono-kompatibel.

**Dolby Digital 5.1.** Das „Dolby Digital 5.1“ ist ein digitales Format und besitzt 6 getrennte Kanäle: Links vorne, Rechts vorne, Center, Linker Surroundkanal, Rechter Surroundkanal und LFE (Low Frequency Effects). Die Aufstellung der Lautsprecher im Raum wird im folgenden Schaubild deutlich gezeigt:



Es ist nicht mehr möglich, dieses Format auf Stereo- oder Mono-System, ohne Probleme, abzuspielen. Dieses Problem wird jedoch dadurch übergangen, dass man parallel zum Dolby-Digital-Format auch noch das Dolby-Surround-Format sende, oder das entsprechende abspielgerät einen Standard-Stereo-Ausgang besitzt, an den durch einen entsprechenden Dekoder Signal gelegt wird.

**Teil VI : Literatur**

- „Digitale Audiosignalverarbeitung“, 1996 Auflage, Udo Zölzer, B. G. Teubner Stuttgart
- „Das Effekte Praxisbuch“, 1999 Auflage, Frank Pieper, GC Carstensen Verlag – München
- „Sound Forge 5.0 XP Help Files“, 2002, Sonic Foundry
- „Cool Edit Pro 2.0 Help Files“, 2002, Syntrillium Software
- „5.1-Channel Production Guidelines“, 2000, Dolby Laboratories Inc
- „Dolby Surround in the age of Dolby Digital“, 1998, Dolby Laboratories Inc