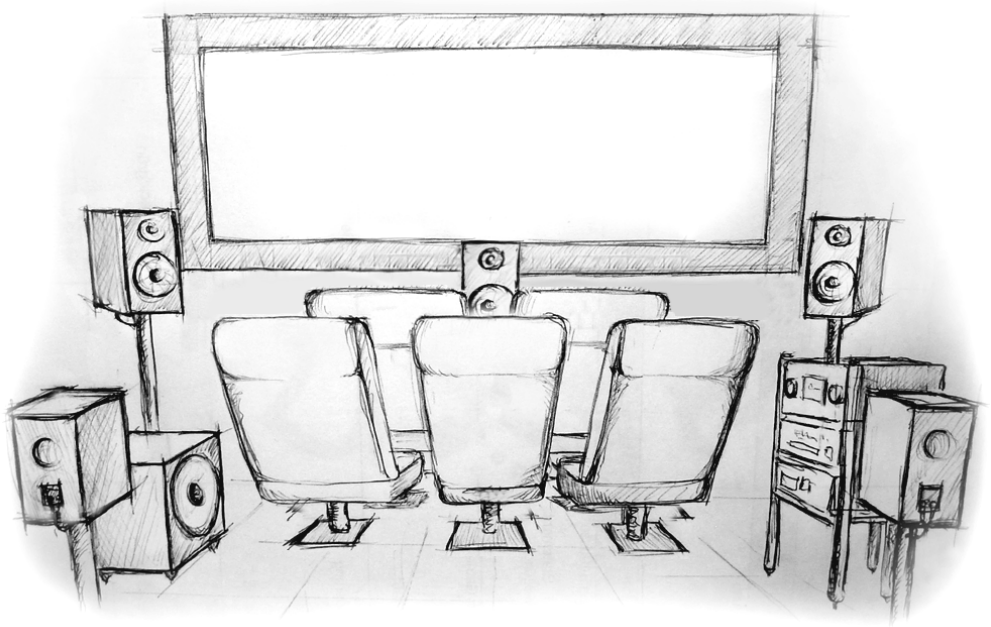
Das Kino zu Hause

Möglichkeiten aktueller Audiosysteme im Heimkino



Bachelorarbeit im Studiengang Audiovisuelle Medien
Fakultät Electronic Media
Hochschule der Medien, Stuttgart

Sebastian Bräuning
Matrikel-Nr.: 16182

Erstprüfer: Prof. Oliver Curdt
Zweitprüfer: Matthias Adler

März 2009

1. Intention

Kino ist für viele ein ganz besonderes Erlebnis und übt nach wie vor eine spezielle Faszination auf den Besucher aus. Der Alltag wird außen vor gelassen und der Film kann mit ungeteilter Aufmerksamkeit genossen werden. Hierbei spielt jedoch bei Weitem nicht nur der Inhalt des Blockbusters eine wichtige Rolle. Zum gelungenen Kinoabend trägt auch ganz entscheidend der besondere Flair eines guten Kinoraumes bei. Zusammen mit einem ausreichend großen Bild und dem meist imposanten, mehrkanaligen Soundsystem, bestehen somit beste Voraussetzungen, um von Ton und Bild eingehüllt, schnell in den Bann des Filmes gezogen zu werden.

Da liegt es nahe, sich solch ein Erlebnis öfter gönnen zu wollen, wann immer einem danach ist, ohne weite Wege auf sich nehmen zu müssen und alles nur in ausgewählter, bester Gesellschaft. Besteht dann noch Interesse an medialer Technik für zu Hause und steht ein passender Raum zur Verfügung, ist das Kino in den eigenen vier Wänden ein naheliegender Gedanke. Dies erklärt auch das zunehmende Interesse am Thema Heimkino. Hinzu kommt, dass neue, hochauflösende Medien – allen voran die das Blu-ray-Format – und die dazugehörige Unterhaltungselektronik sich immer breiter durchsetzen und viele technikbegeisterte Anwender die bestehende Anlage auf die neuen Medien um- bzw. aufrüsten. Die Preise für Heimkinoreceiver, Zuspieler, Lautsprechersysteme und auch Bildwiedergabegeräte sind mittlerweile in realistischen Regionen mit einem guten Leistungsverhältnis angekommen und auch die entsprechenden Medien

werden zunehmend günstiger, auch im Verleih sind diese inzwischen meist problemlos zu bekommen.

Besonders günstig ist das eigene Kino dann aber dennoch nicht zu bekommen. Die verschiedenen Einzelkomponenten können bei einem hochwertigen Heimkino schnell den Gegenwert eines Kleinwagens erreichen. Meist ist die Entstehung eines Heimkinos jedoch ein Prozess, der sich über einen längeren Zeitraum erstreckt und immer wieder verbessert und optimiert wird. Oft wird nicht das ganze Equipment auf einmal gekauft, sondern das bestehende System langsam erweitert.

So entstand auch vor vier Jahren mein eigenes Heimkino. Als sich ein passender Raum anbot, war die Erweiterung der Stereoanlage zum Heimkino nur noch eine Frage der Zeit. Die zwei vorderen Standlautsprecher wurden dabei mit vorhandenen Kompakt-Boxen zu einem 5.0-Lautsprechersystem erweitert. Während für die Bildwiedergabe erst noch der normale Röhrenfernseher genutzt wurde, war die erste große Neuanschaffung ein Heimkinoreceiver, der die gestiegene Zahl an Lautsprechern, mit den nötigen Signalen versorgen konnte. Einige Zeit später wurde der vordere

Abb. 01 **Eigenes Heimkino**

Mittellautsprecher noch durch ein zu den vorderen beiden Hauptlautsprechern passendes Exemplar ausgetauscht und ein aktiver Subwoofer übernahm die im Heimkino so wichtige Arbeit im Tieftonbereich. Um dem Audiosystem gerecht zu werden, wurde später noch der Fernseher durch einen LCD-Projektor ersetzt. Der gesamte Entstehungsprozess dauerte nahezu zwei Jahre und war somit finanziell möglich.

Bei vielen Heimkinoeinsteigern in meiner direkten Umgebung läuft der Entstehungsprozess jedoch eher in umgekehrter Reihenfolge ab. Durch die immer günstiger zu erstehenden, recht großen Flachbildschirme bzw. die hastig zu sportiven Großveranstaltungen erworbenen Projektoren, ist zuerst ein imposantes visuelles Erlebnis vorhanden. Meist wird daraufhin jedoch recht schnell festgestellt, dass ein großes Bild lange nicht ausreicht, um auch Filme in einer kinoähnlichen Atmosphäre erleben zu können. Ohne das passende Lautsprechersystem und die zugehörigen Heimkinoelektronik-Komponenten, welche die nötige Stimmung erzeugen, verpufft das imposante Bild geradezu im heimischen Wohnzimmer.
Es zeigt sich hierbei auch immer wieder, dass mit einem günstigen Kompaktsystem nicht der nötige Nachdruck und die Natürlichkeit im Klangbild erreicht werden kann, um eine realistische Surroundkulisse zu erzeugen. So kommen ernsthaft am guten Ton interessierte Kinoliebhaber nicht daran vorbei, sich mit dem Thema und den eigenen Anforderungen an das Heimkino auseinander zusetzen. In diesem Zusammenhang kommt es somit häufig vor, dass Freunde und Bekannte an mich herantreten und aufgrund meiner eigenen Erfahrungen mehr über das Thema mehrkanalige Audiosysteme für ein geplantes Heimkino erfahren wollen.

Diese Arbeit soll nun den akustischen Bereich des Heimkinos beleuchten und verschiedene Möglichkeiten aufzeigen, wie in den eigenen vier Wänden ein zeitgemäß, effizientes Mehrkanal-Audiosystem aufgebaut werden kann. Dafür werden die nötigen Einzelkomponenten in der Reihenfolge des Signalweges gesondert vorgestellt und ihre spezifische Einbindung ins Heimkino verdeutlicht. Die Möglichkeiten, welche sich durch verschiedene Systeme ergeben, sollen unterschieden und verglichen werden, um den Nutzen oder entstehende Probleme aufzuzeigen. Der Bezug zur praxisnahen Anwendung soll hierbei stets präsent sein.

Ab wann kann überhaupt von einem Heimkino gesprochen werden? Was macht die heimische Audioanlage zum Heimkinosystem? Da es grundsätzlich sehr verschiedene Ansichten gibt, was ein richtiges Heimkino ausmacht, muss der dieser Arbeit zugrunde liegende Qualitätsanspruch vorab festgelegt werden.
Im hier dargelegten Audiobereich sind einige grundlegende Komponenten und Maßnahmen erforderlich, die ein aktuelles Heimkinosystem beinhalten sollte, um ein Klangerlebnis zu erreichen, welches auch gehobenen Ansprüchen gerecht wird.
Das sich immer weiter durchsetzende Blu-ray-Format soll hier als hauptsächliches Wiedergabemedium betrachtet werden, da mit diesem Medium auch die für den Audiobereich sehr interessanten, neuen hochauflösenden Tonformate von Dolby und DTS verbreitet zum Einsatz kommen. Neben dem dafür notwendigen Zuspieler und dem entsprechend ausgerüsteten Surroundreceiver oder -verstärker wird das High Definition Multimedia Interface (HDMI) genauer vorgestellt, welches eine Übertragung

der neuen Formate überhaupt erst ermöglicht. Des Weiteren werden verschiedene Möglichkeiten mehrkanaliger Lautsprechersysteme aufgezeigt sowie das nicht zu vernachlässigende Thema der Raumakustik – einer der wichtigsten Punkte, wenn in den eigenen vier Wänden eine ausgewogene Klangkulisse erreicht werden soll.

Die betrachteten Features verschiedener Geräte beziehen sich meist auf den Bereich der oberen Mittelklasse und machen im Hinblich auf die Kosten eine qualitativ gute Anlage möglich.

2. Medien und Formate im Heimkino

Mit dem Blu-ray-Format halten neue Tonformate Einzug ins Heimkino. Der wesentlich größere Speicherplatz des Mediums von bis zu 50 GB[1] ermöglicht es, auch im Tonbereich mit höheren Datenraten zu codieren und somit die Wiedergabequalität zu verbessern. Das Audioformat ist je nach Quellmaterial unterschiedlich und variiert zwischen den datenreduzierten, verlustbehafteten Formaten Dolby Digital Plus und DTS-HD High Resolution und den verlustfreien Formaten Dolby TrueHD und DTS-HD Master Audio.[2] Somit treten vier unterschiedliche Formate die Nachfolge der auf DVD enthaltenen Dolby Digital- und DTS-codierten Audiospuren an. Die Spezifikationen und Vorteile dieser Neuerungen sollen hier kurz vorgestellt werden.

Abb. 02

Dolby Digital Plus hat mit sechs Megabit pro Sekunde (Mbps) eine um ca. den Faktor zehn größere Datenrate als das herkömmliche Dolby Digital-Format. Es werden standardmäßig acht Kanäle unterstützt, aber auch zusätzliche Kanäle z.B. für mehrere Programme oder Sprachen sind im selben Datenstrom möglich. Zu bestehenden Dolby Digital-Decodern ist eine Abwärtskompatibilität gegeben. Verfügt der Surroundreceiver also nicht über einen Dolby Digital Plus-Decoder, wird automatisch umgeschalten und es kann immer noch auf Dolby Digital zurückgegriffen werden. Das neue Format bietet sich durch die Datenreduzierung zudem auch für zukünftige digitale Fernsehformate an und wurde bereits vom Digital Video Broadcasting Konsortium (DVB) für

künftige Satelliten- und Kabel-TV-Übertragungen akzeptiert. Bei der mittlerweile verdrängten HD DVD war Dolby Digital Plus fest vorgegeben, während bei Blu-ray-Datenträgern lediglich eine Option auf dieses Tonformat besteht.[3]

Abb. 03

Das ebenfalls verlustbehaftete Pendant von DTS stellt der DTS-HD High Resolution-Codec dar. In einem gemeinsamen Datenstrom befinden sich auch hier sogenannte Core-Daten, für einen gewöhnlichen DTS-Decoder, zusammen mit DTS-HD Daten, die automatisch von einem kompatiblen Decoder erkannt und verarbeitet werden. So wird die Datenmenge gegenüber zwei separat gespeicherten Tonformaten deutlich reduziert. Durch dieses Konzept wird außerdem Zeit beim Decodierungsvorgang gespart, da die Generierung von Core- und verlustfreiem Codec in einem einzigen Schritt erfolgt. DTS-HD High Resolution bietet für Blu-ray eine maximale Datenrate von 6 Mbps. Neben sekundären Audiostreams für zusätzliches Audiomaterial sind acht Kanäle mit einer Samplingrate von 96 kHz und eine Auflösung von 24 Bit möglich. Dies hat, wie auch bei Dolby Digital Plus, eine höhere Dynamik und ein erweitertes Frequenzspektrum zur Folge.[4]

Die verlustfreien Codecs Dolby TrueHD und DTS-HD Master Audio gehen noch einen Schritt weiter und geben die Audiospuren so wieder, wie sie im Studio gemischt wurden. Dabei wird bei Dolby TrueHD ein Datenrate von 18 Mbps erreicht. Acht Kanäle werden mit 24 Bit/ 96 kHz

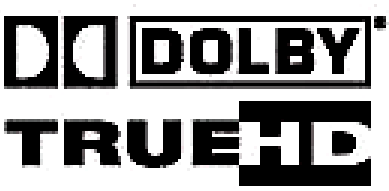


Abb. 04

wiedergegeben, wobei noch zusätzliche Kanäle möglich sind. Blu-ray beschränkt sich jedoch derzeit auf eine maximale Anzahl von acht Kanälen.[5] DTS-HD Master Audio weist eine noch höhere Datenrate von bis zu 24,5 Mbps auf. Die Auflösung beträgt auch hier 24 Bit/ 96 kHz, während sie für ein Zweikanalsignal noch bis auf 192 kHz/ 24 Bit gesteigert werden kann. Neben den ebenfalls wieder möglichen sekundären Audiostreams für zusätzliche Spuren, sind standardmäßig acht Kanäle für das Blu-ray-Format festgelegt.

Abb. 05

Beide verlustfreien Formate liegen unterschiedlichen Codecs zugrunde. Während DTS-HD Master der „Coherent Acoustics HD bit-for-bit Extensions"-Codec zugrunde liegt, basiert Dolby TrueHD auf dem „Meridian Lossless Packaging"-Kompressionsformat.[6] Die hierbei erreichte, geringere Datenrate beim Dolby-Format hat den Vorteil bei der Speicherung auf einen Datenträger weniger Platz in Anspruch zu nehmen. Dem gegenüber steht jedoch die wesentlich längere Decodierungszeit, welche diese Kompression mit sich bringt. So weist Dolby TrueHD eine Latenz von 130 ms auf, während DTS-HD Master in Echtzeit decodiert werden kann. Dieser Umstand wird speziell dann interessant, wenn genügend Speicherplatz zur Verfügung steht und andere Aspekte wie Interaktivität bei Echtzeitanwendungen gefordert sind.[7]

Obwohl die vier neuen Tonformate zunehmend auf Blu-ray-Discs zu finden sind, ist hier keines der Formate als vorgegebener Standard (Mandatory)

festgelegt. Es besteht lediglich eine Option auf die neuen Audioformate, während nur Dolby Digital und DTS immer noch fest vorgeschrieben sind.[8]
Im heimischen Kino hängt der hörbare Qualitätszuwachs, speziell der verlustfreien neuen Tonformate, maßgeblich mit den anderen Komponenten des Audiosystems zusammen. Ist der Surroundreceiver in der Lage die aktuellen Formate zu decodieren, kommt es vor allem auf die Güte der Lautsprecher an. Aufgrund der gesteigerten Dynamikleistung sollten die Speaker sowohl feinste Nuancen, als auch sehr laute Passagen sauber wiedergeben können. Durch die erhöhte Auflösung wird speziell der Hochtonbereich gefordert und muss in der Lage sein, entsprechende Audiosignale detailliert übertragen zu können. Während der akustische Zugewinn bei der letzten Formatänderung im Mehrkanalbereich von Dolby Pro Logic hin zu Dolby Digital und DTS sehr deutlich ausfiel, darf nun nicht zu viel erwartet werden. So sind es hier vor allem feine Nuancen und die gesteigerte Dynamik, die den Unterschied ausmachen und die neuen Formate noch authentischer klingen lassen.[9]

3. Zuspieler

Mit einem herkömmlichen DVD-Player ist die Wiedergabe von Blu-ray-Medien und somit die Ausgabe der neuen HD-Tonformate nicht möglich. Ein gut ausgestatteter DVD-Player verfügt lediglich über DTS- und Dolby Digital-Decoder und kann das gewandelte Signal so über einen analogen 5.1 Ausgang an einen Surroundreceiver weitergeben, der seinerseits über einen analogen Sechskanaleingang verfügt. Des Weiteren ist eine digitale Übertragung zwischen Zuspieler und AV-Receiver ausschließlich per elektrischer SPDIF- (Sony/Philips Digital Interface)[10] oder optischer Digitalverbindung möglich. In diesem Fall wird das DTS- oder Dolby Digital-codierte Signal vom entsprechend ausgestatteten Receiver decodiert.[11]

Soll das Heimkino für Dolby Digital Plus, DTS-HD High Resolution, Dolby TrueHD und DTS-HD Master Audio ausgelegt sein, ist dies nur im Blu-ray-Format und mit entsprechendem Zuspieler möglich. Die stark gefallenen Preise für Blu-ray-Player und Full-HD-Displays tragen derzeit dazu bei, dass viele neu entstehende Heimkinos auf das HD-Medium ausgerichtet werden, bzw. das vorhandene DVD-Equipment langsam ersetzen. Da Blu-ray-Player ebenfalls DVD- und CD-Medien lesen, ist eine entsprechende Umrüstung durchaus sinnvoll. Falls die DVD das präferierte Medium ist, sollte genau verglichen werden, da es speziell hier zu großen Schwankungen in der Wiedergabequalität zwischen verschiedenen Fabrikaten und Modellen der Blu-ray-Player kommen kann.

Blu-ray-Player der oberen Mittelklasse haben meist interne Decoder für die neuen HD-Tonformate von DTS und Dolby integriert. Der zu dieser Ausstattung zugehörige analoge Sechskanal- bzw. Achtkanalausgang in

Form von Cinchanschlüssen gewährleistet so die Verbindung mit einem älteren AV-Receiver, der keine Decoder für DTS-HD Master Audio und Dolby TrueHD besitzt. So kann auch in einem älteren Heimkino problemlos das Blu-ray-Format samt HD-Ton Einzug halten. Zur akustischen Anpassung bieten die meisten Player für diese analoge Audioübertragung ein eigenes Bassmanagement und eine Laufzeitkorrektur an. Da diese nötigen Anpassungsoptionen bei vielen Sourroundreceivern im Mehrkanaleingang-Betrieb nicht aktiv sind, kann somit direkt am Zuspieler die Subwooferübernahmefrequenz und der Laufzeitausgleich verschieden weit aufgestellter Lautsprecher durchgeführt werden.[12]

Abb. 06 **Gut ausgestatteter Blu-ray-Player mit analogem 7.1 Ausgang und HDMI 1.3**

Zeitgemäß wird ein Blu-ray-Player jedoch hauptsächlich über die HDMI-Verbindung[13] (vgl. Kapitel 4) in das Audiosystem integriert. Der Surroundreceiver muss dazu ebenfalls HDMI-fähig sein und die nötigen Decoder für die neuen HD-Audioformate beinhalten. Um die neuen Formate wiedergeben zu können, reicht somit ein einziges Kabel. Der Player gibt dazu Bild und Ton per HDMI an den AV-Receiver weiter, welcher den Ton abzweigt und das Bild zum visuellen Wiedergabegerät durchschleift.

Dies hat gegenüber der analogen Mehrkanalverbindung den Vorteil, dass das Audiosignal nach der Decodierung im Receiver weiter bearbeitet und den persönlichen Vorlieben angepasst werden kann. Eine Nutzung dieser receivereigenen Möglichkeiten zur Nachbearbeitung des Audiosignals ist bei Verwendung des Mehrkanaleingangs meist nicht gegeben. Die HDMI-Verbindung muss hierbei mindestens die Version 1.3 aufweisen, um eine Übertragung der digitalen Audiodaten als Bitstream zu gewährleisten.[14] Ein weiterer Vorteil gegenüber der analogen Übertragung ist, dass eine zusätzliche D/A-Wandlung entfällt. Das Signal wird komplett digital übertragen, im Receiver decodiert und erst bei der Ausgabe über die Vorverstärker- bzw. Lautsprecherausgänge findet die Wandlung auf die analoge Ebene statt.

Die ebenfalls an den meisten Blu-ray-Playern noch vorhandenen optischen oder elektrischen digitalen Audioausgänge im Toslink- bzw. SPDIF-Formt ermöglichen nur die Wiedergabe von DTS- oder Dolby Digital-codierem Material. Eine Weiterleitung der neuen HD-Tonformate ist über diese Digitalanschlüsse nicht realisierbar.

Um den Blu-ray-Player auch einfach als normalen CD-Spieler nutzen zu können, gehört zum audioseitigen Anschlussfeld meist noch ein Stereo-Cinchanschluss für die Ausgabe von PCM-Signalen.

Zur Audioausstattung vieler Player gehört mittlerweile auch eine sogenannte Lip-Sync-Funktion. Hiermit wird es möglich, einen Versatz zwischen Bild und Ton auszugleichen. Diese Asynchronität kommt durch eine immer aufwendigere Videobearbeitung der Plasma- und LCD-Displays sowie vieler Projektoren zustande. Da der Ton wesentlich schneller decodiert wird, muss dies durch ein passendes Delay wieder ausgeglichen werden.

Viele der aktuellen Player erkennen hierfür die Größe des Versatzes automatisch und kompensieren diese selbstständig.[15]

Es bieten sich vielzählige Optionen zur Einbindung eines Blu-ray-Players in ein Heimkino an. Je nach vorhandenem Equipment und persönlichen Bedürfnissen kann jedoch oft auf gewisse Anschlüsse und Features verzichtet werden, um den Player optimal auf das restliche Audiosystem abzustimmen. So bieten Player zum Teil nur einen einzigen HDMI-Anschluss zur Audio- und Videoübertragung an, was für manche Anwendungen in entsprechender Systemumgebung absolut ausreichend ist und die Verkabelung auf ein Minimum reduziert.[16] Um in eine schon vorhandene, ältere Anlage integriert zu werden, bietet sich hingegen ein anschlussseitig reichhaltig ausgestatteter Zuspieler an. Durch die vorhandenen analogen Mehrkanal- und Stereoausgänge besteht damit die Möglichkeit zum Anschluss an einen Surroundreceiver ohne HDMI-Terminal, oder an einen vorhandenen Stereoverstärker.[17]

4. HDMI im Heimkino – die digitale Audio-Datenübertragung

Um die digitale Übertragung der neuen hochauflösenden Tonformate von DTS und Dolby komfortabel zu ermöglichen ist eine Verbindung per High Definition Multimedia Interface (HDMI) erforderlich. Diese serielle Übertragung wurde mit der 1.0-Version im Dezember 2002 eingeführt und erfuhr bis heute zahlreiche Aktualisierungen und Anpassungen an den aktuellen Stand der Multimediatechnik. So kam 2004 die Version 1.1 heraus, mit der es erstmals möglich war, neben Videodaten auch Audioinhalte (DVD-Audio) zu übertragen. Mit HDMI 1.2 wurden ab 2005 1-Bit-Audioformate unterstützt und somit auch die Wiedergabe von Direct Stream Digital-Daten also der SACD gewährleistet. Hiermit war es bei diesen beiden hochauflösenden Audioformaten möglich, mit einem Kabel alle Audiokanäle verlustfrei digital zu übertragen. Die bis dahin übliche analoge Übertragung mit sechs separaten Cinchkabeln und einer zusätzlichen Wandlung war somit überflüssig.[18]

Abb. 07 **HDMI-Stecker**

Um die neuen Tonformate Dolby Digital Plus, Dolby TrueHD, DTS-HD Master Audio und DTS-HD High Resolution Audio übertragen zu können, war eine weitere Aktualisierung nötig. Seit Juni 2006 ist HDMI 1.3 (später 1.3a) für diese Aufgabe spezifiziert und stellt die einzige digitale Möglichkeit dar, diese hochauflösenden neuen HD-Tonformate weiterzuleiten. Die Übertragung der digitalen Audiosignale geschieht im Multiplexverfahren über die vier Video Transition Minimized Differential Signaling (TMDS)-Leitungen des

Kabels. Eine weitere für den Heimkinobetrieb sehr wichtige Neuerung der aktuellsten HDMI Version ist die gesteigerte einfache Datenübertragungsrate von nun 10.2 Giga bit per secound (Gbps). Somit steht mehr als die doppelte Bandbreite der von einer Blu-ray-Disc ausgegebenen Daten zur Verfügung. Außerdem ist durch die grundlegende Konzeption eine weitere Steigerung der Datenrate auch in Zukunft möglich.[19]

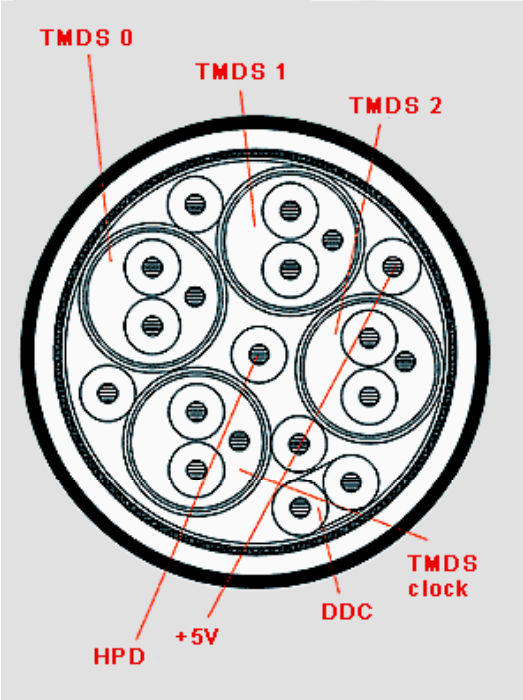


Abb. 08 **HDMI-Kabelquerschnitt, mit den für Audio- und Informationsübertragung relevanten Leitungssträngen**

Der aktuelle HDMI-Standard lässt des Weiteren einen Datenabgleich der angeschlossenen Geräte untereinander zu. Zwei miteinander verbundene Geräte erkennen so über die Hot-Plug-Detection (HPD)-Leitung des HDMI-Kabels das Gegenüber und dessen Spezifikationen. Es findet ein automatischer Datenaustausch statt, der dazu dient, die Komponenten in Hinblick auf die Kompatibilität und Wiedergabeoptionen optimal aufeinander abzustimmen.[20] Um auch im Standby-Modus den Informationsaustausch zwischen verschiedenen Geräten zu gewährleisten, ist eine +5 Volt Betriebsspannung am Kabel angelegt. Auch können Steuerbefehle übermittelt werden, die bestimmte Funktionen vereinfachen oder

automatisieren. So erkennt z.B. die im Display Data Channel (DDC) des Kabels integrierte Lip-Sync-Funktion, ob zwischen Audio- und Videodaten ein Versatz besteht und gleicht diesen bei Bedarf selbstständig aus, um eine Asynchronität zu vermeiden. Per Consumer Electronics Control (CEC) lassen sich außerdem mehrere Steuerbefehle verschiedener Komponenten miteinander verkoppeln. So kann eine ganze Reihe von bestimmten Aktionen durchgeführt werden, ausgelöst durch einen einzigen Befehl des Benutzers.[21]

Im komfortorientierten Heimkinobereich stehen damit eine Reihe neuer Optionen zur Verfügung, welche die Bedienung der Komponenten noch sicherer gelingen lassen. Auch die volle Abwärts-Kompatibilität trägt hierzu entscheidend bei und stellt die entsprechende Kommunikation der verschiedenen HDMI-Versionen sicher.

Das zur Synchronisierung mehrerer Geräte wichtige Taktsignal wird über eine weitere TMDS-Leitung übertragen, während die High-Bandwidth Digital Content Protection- (HDCP) Kopierschutzprotokolle über den DDC-Kanal des Kabels übermittelt werden. Da jedes der angeschlossenen Geräte das HDCP-Protokoll unterstützen muss, um eine Signalübertragung zu ermöglichen, ist dieses mittlerweile zum festen Bestandteil HDMI-fähiger Komponenten geworden.[22]

Für relativ kurze Kabellängen unter fünf Metern ist ein gut verarbeitetes Kabel mittlerer Preisklasse ausreichend. Sind längere Strecken bis zehn Meter zu überwinden, wird die Übertragung schon problematisch und es ist auf eine sehr hochwertige HDMI-Verbindung zu achten, die das Signal entsprechend lange stabil halten kann. Für noch längere Kabelstrecken

gibt es aktive HDMI-Leiter, die mit einem eingebauten Repeater für eine sichere Datenübertragung sorgen.[23]

Der Ansatz mancher Hersteller, am Steckverbinder eine schraubbare Fixierung, ähnlich der DVI- oder Sub-D-Stecker, zu integrieren, hat sich bis jetzt nicht durchgesetzt. So kann es durch die Kombination bestimmter Stecker und Buchsen vereinzelt zum Abbruch des Datenstromes kommen, wenn sich der Stecker minimal aus dem Anschlussterminal löst.

Die HDMI-Verbindung hat sich nun schon seit Längerem fest bei Audio- und Videokomponenten etabliert und stellt den gegenwärtigen Standard der digitalen medialen Datenübertragung dar. Nahezu alle aktuellen im Heimkino relevanten Geräte verfügen über die nötigen Anschlüsse und machen so eine unkomplizierte Interaktion und Integration im Heimkino möglich. Um die immer größeren Datenmengen und Bandbreiten der neuen Ton- und Bildformate verarbeiten zu können ist dieses Übertragungsformat aus dem heutigen Heimkino nicht mehr wegzudenken.

5. Surroundverstärker und -receiver

Den zentralen Knotenpunkt eines jeden modernen Heimkinos stellt der Surroundverstärker bzw. der Surroundreceiver dar. Der Unterschied zwischen diesen beiden Geräteausführungen liegt lediglich am zusätzlichen Tuner des Surroundreceivers. Dieser wird bei einem Großteil aller Heimkinoanlagen eingesetzt, was auch damit zu tun hat, dass reine Surroundverstärker eher in höheren Preisregionen angesiedelt sind. An dieser Schaltzentrale liegen nun sämtliche Geräte des Systems an. So werden hier nicht nur Audiosignale verwaltet, sondern auch jegliche Videosignale, die bei Bedarf inklusive Full HD-Upscaling an das Bildwiedergabegerät weitergegeben werden. Die große Rechenleistung eines modernen Surroundverstärkers lässt allerdings noch wesentlich mehr zu, als die Zuweisung sämtlicher Bild- und Tonquellen. So ist es heute mit einem Gerät der oberen Mittelklasse bereits möglich, den Hörraum vollständig einzumessen, das exakte Lautsprechersetup durchzuführen und virtuelle Räume für unterschiedliche Audiosignale zu schaffen. Auf diese und weitere innovative Features, die ein aktueller Heimkinoreceiver der oberen Mittelklasse im Tonbereich bieten kann, soll im Folgenden eingegangen werden.[24]

5.1. Grundlegender Aufbau

Nach wie vor besteht die Hauptaufgabe des Heimkinoreceivers darin, die vom CD-, DVD- oder Blu-ray-Player zugespielten Audiosignale zu verstärken und an die Lautsprecher weiterzugeben. Nahezu alle Receiver verfügen

dazu über sieben identische, diskret aufgebaute Leistungsverstärker. Durch ein dynamisches Endstufenmanagement ist es oft möglich, den beiden Surroundbackkanälen auch andere Audioquellen und Lautsprecher zuzuweisen. So kann ein weiterer Raum mit Audiosignalen eines zweiten Zuspielers versorgt werden, während die restlichen fünf Endstufen im Heimkino zusammen mit einem aktiven Subwoofer ein vollwertiges 5.1-Setup ermöglichen.[25] Alternativ ist oft eine Zuweisung der Surroundback-Endstufen zu den Frontlautsprechern konfigurierbar. Zusammen mit den beiden Frontendstufen ist es somit möglich, große Hauptlautsprecher im Bi-Amping-Modus zu betreiben. So kommt pro Lautsprecher jeweils eine separate Endstufe für Hoch- und Tieftöner zum Einsatz, was die Qualität im ebenfalls möglichen Stereobetrieb des Receivers steigert. Hierfür ist auch der „Pure Direct Modus“ gedacht. Er schaltet im Zweikanalbetrieb alle unnötigen Sektionen, wie die digitale Videoverarbeitung, das Display und die Tonregelung ab. Die meisten Receiver verfügen für eine feinzeichnende, detailreiche Musikwiedergabe zusätzlich noch über Prozessoren, die ankommende 16-bit-Signale einer CD auf 24 bit hoch interpolieren. Die bei der D/A-Wandlung auftretenden Quantisierungsverzerrungen werden so minimiert und auch bei sehr leisen Passagen können alle musikalischen Nuancen sauber wiedergegeben werden. Die Wandler arbeiten außerdem mit einer Abtastfrequenz von 192 KHz, was besonders bei hochauflösenden Musikformaten von Vorteil ist.[26]

Bei der aktuellen Gerätegeneration fällt auf, dass mehr denn je auf einen „guten Ton“ geachtet wird. Stand bei älteren Geräten vor allem die Ausstattung und Leistungsfähigkeit im Vordergrund, werden an aktuelle Geräte weit höhere Anforderungen gestellt. Ein Receiver soll nicht nur mit allen derzeit verfügbaren Mehrkanal-Dekodern und Surroundaufpolierern ausgestattet sein, sondern auch im Inneren beste Technik und Verarbeitung bieten. So weist der Chassis-Aufbau meist eine strikte Trennung der einzelnen Baugruppen auf. Die Stromversorgung ist örtlich von digitalen Bauteilen getrennt und auch die Leistungstransistoren mit ihren Alukühlkörpern und Kondensatoren finden gemeinsam Platz. Zusammengehörige Platinen werden benachbart angeordnet und somit unnötige Kabelwege vermieden. Durch diese Trennung von Arbeits- und Stromversorgungsbereichen werden Rauschen und unerwünschte Signalüberlagerungen minimiert.[27]

Abb. 09 **Innerer Receiveraufbau mit getrennten Sektionen**

Da für die bei vielen Heimkinonutzern immer noch sehr beliebte Stereowiedergabe meist kein separater Zweikanalverstärker zur Verfügung

steht, muss der Surroundreceiver diese Aufgabe mit übernehmen. Dem wird in der Entwicklung neuer Receiver Rechnung getragen und mit obigen Maßnahmen ein beachtliches Niveau erreicht. Um mit einem guten Stereoverstärker mithalten zu können, werden jedoch schnell Preisregionen erreicht, die einen vergleichbaren Zweikanaler mehrfach übertreffen. Ist im Heimkino also auch die Musikwiedergabe in Stereo geplant, sollte der alte Stereoverstärker keinesfalls vorschnell aussortiert werden.[28]

5.2. Anschlüsse

Auf der Rückseite eines aktuellen Receivers der gehobenen Mittelklasse finden sich vielfältigste Anschlussmöglichkeiten. Seit einigen Jahren gehören die folgenden analogen Anschlüsse zum Standard bei AV-Receivern: Eingänge für S-Video und Composite-Videosignale mit dazugehörigen Stereo-Cinch-Inputs, welche einem dafür vorgesehenen Monitorausgang zugewiesen werden können. Für reine Audiosignale stehen einige Cincheingänge für CD-Spieler und Plattenspieler (Phono MM[29], mit dazugehörigem Erdungsanschluss) oder ähnliche Quellen zur Verfügung. Zusätzliche Stereo-Cinchausgänge versorgen weitere Hörzonen mit Musik. Für einen Zuspieler mit internem Decoder und D/A-Wandler steht ein 7.1 Externeingang in Cinchausführung bereit. Falls eine separate Mehrkanalendstufe zur Verstärkung genutzt werden soll, ist ein ebenso ausgeführter Achtkanal-Vorverstärkerausgang integriert. Hierüber findet auch der aktive Subwoofer seinen Anschluss.

Meist sind neun Lautsprecherterminals für die sieben Lautsprecher sowie für zwei weitere frei zuweisbare Anwendungen, wie Bi-Amping oder eine weitere Hörzone, verfügbar.

Auf digitaler Ebene sind mindestens ein optischer Audioausgang und mehrere Eingänge in optischer und koaxialer Ausführung vorhanden. Um dem Receiver digitale Audiosignale zuzuspielen waren diese Anschlüsse bis vor ca. drei Jahren, neben firmenspezifischen Schnittstellen die einzige Möglichkeit. Seitdem werden HDMI-Terminals in Surroundreceiver integriert und diese weiterentwickelte Form der digitalen Datenübertragung, stellt den Standard dar.

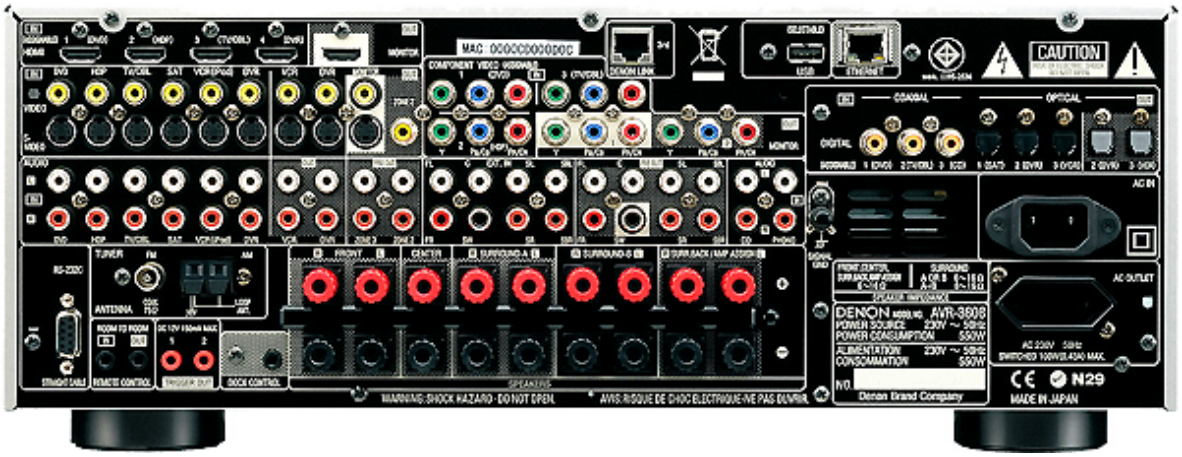


Abb. 10 **Reichhaltig ausgestatteter Receiver mit HDMI 1.3a -Terminal, USB und Netzwerkanschluss**

Aktuelle Receiver bieten zudem noch einen Anschluss für USB-Geräte. Hier kann entweder ein USB-Stick bzw. -Player, oder eine entsprechende externe Festplatte als Zuspieler für Audiosignale genutzt werden. Über die immer häufiger vorhandene Ethernet-Schnittstelle kann der AV-Receiver in ein Netzwerk eingebunden werden. So ist ein Audio-Streaming vielfältiger,

komprimierter und unkomprimierter Musikformate vom PC oder Internet ebenso wie der Empfang von Internetradioprogrammen möglich. Des Weiteren kann so das Einstellungssetup und die Bedienung des Receivers bei Bedarf vom PC aus durchgeführt und kontrolliert werden. Einige Geräte bieten über DLNA (Digital Living Network Alliance) auch eine Bild- und Videowiedergabe über einen entsprechenden Server per Netzwerkverbindung an. Immer mehr AV-Receiver verfügen außerdem noch über eine vollständige Einbindung eines iPod in das Audiosystem oft via entsprechender Dockingstationen.[30]

Über die RS-232-Schnittstelle[31] können externe Fernbedienungen für das Gerät angeschlossen werden. Manche Hersteller bieten über eine bidirektionale Remote auch das Empfangen von Daten auf der Fernbedienung an. So können unter anderem die Playlisten von entsprechenden Zuspielern direkt auf dem Display der Remote angezeigt werden.[32] Außerdem werden bei Receivern, die über keinen Netzwerkanschluss verfügen, bei einigen Herstellern auch Software-Updates über den RS-232-Anschluss angeboten. Schließlich sind noch ein Koax-Antennenanschluss und Trigger-Ausgänge zum Einschalten anderer triggerfähiger Geräte über den AV-Receiver vorhanden.

Die genaue Ausstattung bzw. die Anzahl der genannten Anschlüsse variiert bei jedem Hersteller und dessen jeweiligen Geräten in verschiedenen Preisklassen. Das hier beschriebene Anschlussterminal soll anhand eines reichhaltig ausgestatten Surroundreceivers zeigen, was in mittleren Preisregionen derzeit möglich ist.[33]

5.3. Einmessen des Audiosystems

Um den Receiver an die jeweilige Akustik unterschiedlicher Heimkinoräume anzupassen, werden automatische Einmesssysteme integriert. Jedes Gerät der oberen Mittelklasse besitzt dieses Feature in unterschiedlicher, firmenspezifischer Ausführung. Per mitgeliefertem geeichtem Messmikrofon, das an den AV-Receiver angeschlossen wird, können in kurzer Zeit akustische Unzulänglichkeiten des Hörraumes aufgespürt werden. Vor der Messung sollte sichergestellt werden, dass sämtliche Einrichtungsgegenstände ihren festen Platz gefunden haben und Vorhänge etc. in die Position gebracht werden, die sie später auch bei Nutzung des Heimkinos innehaben. Wird die Einrichtung verändert, muss die Messung erneut durchgeführt werden, da sich die Raumrefflektionen in Bezug auf die Hörzone ebenfalls ändern. Um die Messung nicht zu verfälschen, ist außerdem eine möglichst ruhige, gleichmäßige Umgebung unerlässlich. Unterstützt der Receiver mehrere Messpositionen, sollte die gesamte Hörzone mit Messpunkten bedacht werden. Bei nur einem möglichen Messpunkt wird in Kopfhöhe des mittleren Sitzplatzes gemessen. Sämtliche Mikrofontypen besitzen zur sauberen Positionierung ein Gewinde. So kann das Messmikrofon beispielsweise auf einem Kamerastativ und somit ohne störende Reflektionen freistehend platziert werden. Ist das Mikrofon mit dem Receiver verbunden, wird im Setup-Menü die automatische Einmessprozedur gestartet. Der AV-Receiver übernimmt nun automatisch: Ringsum werden auf den verschiedenen Lautsprechern Testsignale wiedergegeben, während der Receiver gleichzeitig die am Hörplatz ankommenden Signale misst und analysiert. Je nach Fabrikat und Messsoftware kann der Einmessvorgang ca. fünf bis dreißig Minuten dauern.

In dieser Zeit wird sowohl das Speakersetup, als auch eine filtergestützte Raumentzerrung durchgeführt, diese versucht Problemfrequenzen des Heimkinos zu neutralisieren.[34] Auf den ersten Blick scheinen die Einmesssysteme unkompliziert und schnell ein relativ gutes Ergebnis zu erzielen. Welche Funktionen diese Systeme besitzen und ob sie in allen Bereichen bedenkenlos einsetzbar sind, soll nachfolgend aufgezeigt werden.

5.4. Lautsprecher-Management

Beim Lautsprecher-Management werden die grundlegenden Einstellungen für das Lautsprechersystem automatisch vorgenommen. Zunächst erkennt der Receiver während der Testsequenz, wie viele Lautsprecher angeschlossen sind, also ob ein 5.1 oder ein 7.1 System betrieben wird. Des Weiteren wird auf eine eventuelle Verpolung der Lautsprecher geprüft. Da bei bis zu sieben Lautsprechern nur sehr schwer sofort gehört werden kann, ob ein Kabel verpolt angeschlossen ist, stellt die Funktion ein sinnvolles Feature dar. Dieses ist jedoch nur als Unterstützung anzusehen, da eine Phasenwarnung des Öfteren auch bei korrekt angeschlossenen Lautsprechern angezeigt wird. In diesem Fall sollten die Anschlussklemmen an Receiver und Lautsprecher überprüft und eine erneute Messung durchgeführt werden. Wird wieder ein Phasefehler angezeigt, kann dies auch an der Bauweise des angeschlossenen Lautsprechers liegen und dieser Punkt des Setups kann übersprungen werden.

Bei einem Surroundsystem mit verschieden großen Lautsprechern, wird während des Setups auch ermittelt, wo sich ein Kompakt- bzw.

Fullrangelautsprecher befindet. Bei älteren Systemen wurde nur in small und large unterschieden und dementsprechend für alle Lautsprecher die gleiche Übernahmefrequenz zum Subwoofer festgelegt. Aktuelle Einmesssysteme ermitteln die untere Grenzfrequenz jedes einzelnen Lautsprechers diskret und legen so die optimale Subwoofer-Übernahmefrequenz individuell fest. So kann jeder Lautsprecher bestmöglich angesteuert werden und es kommt zu keinen einzelnen Überbelastungen. Es besteht jedoch weiterhin die Möglichkeit, die Übernahmefrequenz für jeden Speaker manuell vorzunehmen. Hier kann meist im Bereich zwischen 40 Hz und 200 Hz gewählt werden. Im wichtigen Bereich unter 100 Hz, erfolgt dies in zehn oder fünf Hertz-Schritten.[35]

Bei nicht optimaler Sitz- bzw. Lautsprecheranordnung ist der nächste Schritt des Setups besonders wichtig: Weisen die Speaker unterschiedliche Entfernungen zum zentralen Hörplatz auf, muss dies durch eine entsprechende Zeitverzögerung ausgeglichen werden. Nur wenn die Signale des Subwoofes und aller sieben Lautsprecher eines 7.1 Systems gleichzeitig am Hörplatz eintreffen, ist ein einwandfreier Surroundklang möglich. Das Einmesssystem ermittelt nun die Abstände jedes Lautsprechers anhand der Testsignale und führt die jeweils nötige Delay-Kompensation durch. Dies geschieht meist mit einer hohen Genauigkeit in 0,01 Meter-Schritten. Die Entfernungen können bei Bedarf auch hier wieder manuell abgemessen und in das Setup eingegeben werden. Es muss jedoch klar sein, dass die Lautsprecherabstände nur auf eine Position hin abgeglichen werden können. Mit zunehmender Entfernung zum mittleren Hörplatz, verändern sich die Laufzeitunterschiede der einzelnen Lautsprecher und das Surroundpanorama wird nicht mehr korrekt wahrgenommen. Bei

Systemen die mehrere Einmesspositionen unterstützen, ist es daher wichtig, bei der ersten Messung den bevorzugten, meist mittleren Hörplatz zu wählen, da hier die Laufzeitunterschiede ermittelt werden.[36]

Es kann vorkommen, dass der Abstand des Subwoofers vom automatischen Setup als zu hoch ermittelt wird. Dies kann damit zusammenhängen, dass die akustischen Laufzeiten tiefer Frequenzen länger sind und daher eine entsprechende Anpassung an höhere Frequenzen erfolgt. Ein anderer möglicher Grund für das zu kurz erscheinende Delay ist der Tiefpassfilter eines Subwoofers. Dieser Filter sorgt für eine weitere Verzögerung des Audiosignals und es wird daher beim Einmessen eine größere Entfernung als die tatsächliche angegeben. Diese sollte jedoch trotzdem belassen werden, da so die optimale Verzögerungszeit für ein sauberes Zusammenspiel aller Speaker gegeben ist.[37]

Abschließend führt das Lautsprechersetup noch eine auch manuell mögliche Pegelanpassung durch. Hier werden die Speaker in 0,5 dB-Schritten so einander angepasst, dass am Hörplatz alle in gleicher Lautstärke ertönen.[38] Dies ist speziell bei verschiedenen Lautsprechern mit unterschiedlichem Wirkungsgrad wichtig und für eine genaue und ausgewogene Wiedergabe und ein detailliertes Surroundpanorama unerlässlich.

5.5. Filtergestützte Raumeinmessung

Um negative Raumeinflüsse möglichst zu neutralisieren, bieten moderne Surroundreceiver eine Equalizerfunktion in Verbindung mit einer Raumeinmessung an. Aufgrund der Einmessergebnisse und der daraus

ermittelten Raumantwort wird für jeden Lautsprecher einzeln eine linearisierende EQ-Kurve errechnet. Diese soll die akustischen Unzulänglichkeiten des Hörraumes neutralisieren. Der Vorgang geschieht im Rahmen der einmaligen Einmessprozedur, zusammen mit dem Speaker-Setup. Stehende Wellen (vgl. Kapitel 7.2.) im Bassbereich und unausgewogene Nachhallzeiten sollen wirksam minimiert und eine ausgewogene Raumakustik erzielt werden. Firmenspezifisch gibt es unterschiedliche Systeme, welche aber alle nach einem ähnlichen Prinzip arbeiten.[39]

Ein sehr verbreitetes System in verschiedenen Receivern ist der MultEQ-XT von Audyssey. Anhand dieser fortschrittlichen Software sollen Funktionsweise und Auswirkungen eines aktuellen automatischen Raumeinmesssystems betrachtet werden.

MultEQ-XT basiert nicht wie viele vergleichbare Systeme auf vollparametrischen Equalizern. Diese sind in der Anzahle ihrer Bänder meist sehr limitiert und verursachen konstruktionsbedingt schnell Phasenprobleme, die sich negativ auf die Wiedergabe auswirken. Audyssey arbeitet mit „Finite Impulse Response“ (FIR)-Filtern. Diese nutzen für eine hohe Auflösung einige Hundert Koeffizienten, verteilt über den gesamten Frequenzbereich. Die Verteilung der Filter ist hierbei jedoch nicht gleichmäßig, sondern variiert mit der Frequenz. So werden im akustisch kritischen Tieftonbereich verhältnismäßig mehr Filter gesetzt und die Auflösung, sowie die somit verbundene Präzision, erhöht.

Bei der Beurteilung der Raumakustik wird beim Audyssey-System aber nicht nur der Frequenzbereich berücksichtigt, sondern auch der Zeitbereich. Beim Einmessen werden somit sowohl das Direktsignal beurteilt als auch die

nachfolgenden Reflektionen analysiert. Möglich wird dies erst durch die Erstellung einer komplexen Impulsantwort des Raumes. Als Ergebnis werden also nicht nur Pegelveränderungen vorgenommen, sondern auch Laufzeiten verschiedener Frequenzen korrigiert.

Eine weitere Neuerung, im Gegensatz zu älteren Versuchen ein effizientes System zur Raumanpassung im Heimkino zu entwickeln, ist die Einmessung an mehreren Punkten im Raum. So wird zwar ein mittlerer Hörplatz besonders berücksichtigt, aber zudem auch eine ganze Hörzone für mehrere Personen. Da stehende Wellen im Raum von Hörplatz zu Hörplatz stark unterschiedlich ausgeprägt sein können, ist die Messung an verschiedenen Positionen und die anschließende Datenverarbeitung grundlegend wichtig. Audyssey verwendet für die Berechnung der ausgleichenden Filterkurven daher auch nicht die Durchschnittswerte der verschiedenen Messpunkte, denn dies könnte aufgrund der unterschiedlich stark ausgeprägten stehenden Wellen an den verschiedenen Positionen zu einer Neutralisierung führen und der Filter würde im Extremfall nicht aktiv werden.[40]

MultEQ-XT unterschiedet nun innerhalb der gewählten Messpositionen noch einmal kleinere Bereiche. Diese sogenannten Cluster werden anhand von Ähnlichkeiten in Bezug auf die jeweilig gemessene Raumantwort gebildet. So kann schnell festgestellt werden, welches Problem charakteristisch für den ganzen Raum, oder nur einen speziellen Hörplatz ist, und dementsprechend kann eine Gewichtung durchgeführt werden. Als Nächstes wird von jedem der typischerweise drei bis fünf Cluster eine charakteristische Raumantwort ermittelt. Die entgültige Grundlage für die Berechnung der Filtereinstellungen bildet dann die Zusammenfassung der

einzelnen Cluster-Ergebnisse. Die so entstandene sogenannte Zielkurve wird für jeden Lautsprecher und den aktiven Subwoofer individuell ermittelt und kann je nach persönlicher Vorliebe oder räumlichen Spezifikationen unterschiedlich angewendet werden. So stehen bei Audyssey nach der Einmessprozedur vier Modi zur Auswahl.[41]

Im „Audyssey"-Modus wird die Zielkurve so umgesetzt, dass bei hohen Frequenzen Pegelabsenkungen erfolgen, um die entsprechenden akustischen Probleme des Raumes zu minimieren. Der Ansatz hierbei ist, dass Lautsprechersysteme hohe Frequenzen gebündelter abstrahlen und dieser Umstand mit fallender Frequenz immer weniger ausgeprägt ist. So soll ein Gleichgewicht von Direktschall und Raumrefflektionen herbeigeführt werden. Dies hängt natürlich stark von den akustischen Eigenschaften des Heimkinos und den verwendeten Lautsprechern ab und muss, wie bei den anderen Modi auch, für jeden Hörraum individuell betrachtet werden.

Zur weiteren Auswahl steht die "Flat"-Kurve. Diese nimmt keine Absenkung hoher Frequenzen vor und ist für kleinere Hörräume mit einer Sitzposition nahe den Lautsprechern gedacht. Verfügt der Surroundreceiver über ein THX-Programm und soll dieses verwendet werden, wird empfohlen den Flat-Modus zu wählen. THX kann somit alle programmeigenen Einstellungen uneingeschränkt vornehmen.

Im „Front"-Modus werden alle übrigen Surroundlautsprecher möglichst an die beiden Frontlautsprecher angepasst. Diese werden dabei ohne Filterkurve betrieben, während für die restlichen Speaker der Mittelwert, der für die beiden vorderen Lautsprecher ermittelten EQ-Kurve, als Grundlage verwendet wird. Sind die Frontlautsprecher den restlichen Speakern

qualitativ überlegen, kann dieser Modus zu guten Ergebnissen führen und die Homogenität im Klangbild verbessern.

Soll kein automatisch ermitteltes Programm genutzt werden, kann bei Bedarf jeder Lautsprecher im „Manual“-Modus nach eigenem Ermessen eingestellt werden. Sind die spezifischen Raumresonanzfrequenzen bekannt, kann so gezielt Einfluss auf das Klangbild genommen werden. Hier besteht zudem die Möglichkeit, die automatisch ermittelte „Falt“-EQ-Kurve in den manuellen Modus zu kopieren und dann nach eigenen Vorlieben weitere Einstellungen vorzunehmen. Es gibt allerdings die Einschränkung, dass hier nur neun fest definierte Bänder zwischen 63 Hz und 16 kHz zur Verfügung stehen und eine detaillierte Bearbeitung so nur sehr begrenzt möglich ist.[42]

Die automatische Raumeinmessung bietet also reichhaltige Möglichkeiten, das Heimkinosystem an den vorhandenen Hörraum anzupassen. In der Praxis ist dies aber nicht unumstritten. Auch wenn die Einmessung korrekt durchgeführt wird, kann es zu Ergebnissen kommen, die nicht direkt nachvollziehbar sind. So sollte das Auto-Setup stets kontrolliert und die verschiedenen Einstellungen getestet werden. Da sich die Funktion aber jederzeit aus-

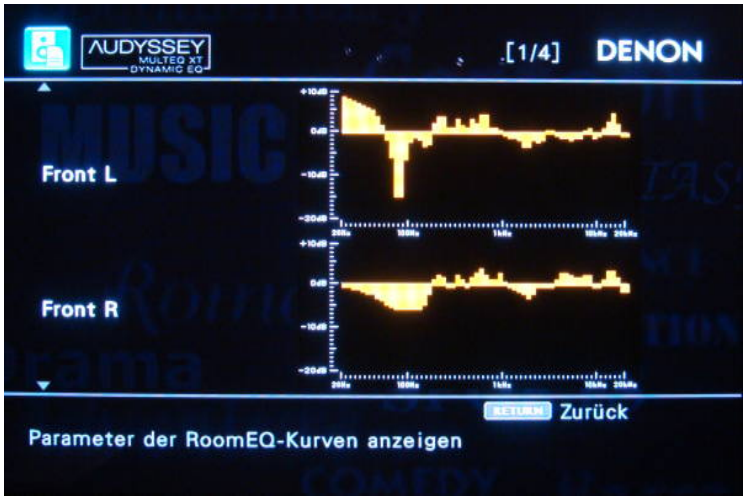
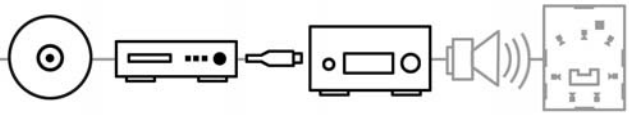


Abb. 11 **Mit Audyssey ermittelte Filterkurven der Frontkanäle**



schalten lässt, kann hier sehr einfach und schnell ein A/B-Vergleich durchgeführt werden.

Sich blind auf akustische Besserungen zu verlassen, kann schnell zu einer ungewollten Verschlechterung im Klangbild führen.[43] Wird dies so wahrgenommen, sollte die Einmessung mit leicht veränderten Messpositionen wiederholt werden, da hier schon sehr kleine Abweichungen zum Teil gravierende Unterschiede der EQ-Zielkurven zur Folge haben. Es kann auch hilfreich sein, den gesamten Messbereich etwas einzuschränken und die Messpunkte näher zusammmenzurücken.

Wurde die Messung genau durchgeführt, kontrolliert und gegebenenfalls wiederholt, kann der MultEQ-XT eine deutliche Verbesserung der Raumakustik bewirken. Speziell in Heimkinos mit einrichtungs- und geometrisch bedingter kritischer Raumakustik kann das System meist schnell bessere Ergebnisse erzielen. Stehende Wellen und unausgewogene lange Nachhallzeiten können deutlich reduziert werden. Auch unzulänglich zusammen-gestellte Lautsprecher-Systeme können von der Frequenzanpassung profitieren und die Homogenität des Surroundsets gesteigert werden. So wird mancher Kanal drastisch mit dem EQ bearbeitet um eine verbesserte, ausgeglichenere Wiedergabe zu erreichen. Es sollte jedoch klar sein, dass ein schlecht konstruierter Lautsprecher keinesfalls durch Audyssey zu einem besseren Schallwandler getunt werden kann. [44]

Das System sollte nur als eine zusätzliche Möglichkeit gesehen werden, die Wiedergabe in akustisch schwierigen Räumen zu optimieren. Speziell in einem Heimkino mit einer guten Raumakustik und hochwertigen Lautsprechern darf von diesem Assistenzsystem nicht zu viel erwartet werden. Besteht jedoch keine andere Möglichkeit, die Akustik des

Hörraumes zu verbessern (vgl. auch Kapitel 7), stellt der MultEQ-XT eine leistungsstarke Alternative dar, die es allemal lohnt zu testen.

5.6. Dynamic Volume und Dynamic EQ

Ein weiteres Feature des Audyssey-Systems, welches in immer mehr aktuellen AV-Receivern verbaut wird, ist die Dynamic Volume Funktion in Kombination mit Dynamic EQ. Diese Systeme haben das Ziel, ursprünglich für große Kinosäle abgemischtes Programmmaterial in Heimkinoräume zu übertragen.

Oftmals ist es aus verschiedenen Gründen nicht möglich, das Audiosystem im Heimkino in der gewünschten, meist gehobenen Lautstärke zu nutzen. So werden die hohen Pegel beim Abmischen und in der Kinowiedergabe im Heimkino kaum erreicht. Aufgrund der, abhängig vom Quellmaterial, meist großen Dynamik bei Filmen, wechseln sich oft leise Dialoge mit sehr lauten Passagen ab. So kann entweder versucht werden, dies auszugleichen, indem manuell per Lautstärkeregler konstant nachregelt wird, oder der Lautstärkepegel wird dauerhaft auf ein umgebungsfreundliches Niveau abgesenkt. Da ruhige Passagen dann wiederum unverständlich werden können und sich authentisches Kinofeeling auch nur bei höheren Lautstärken erst richtig einstellt, hat Audyssey mit zwei neuen Funktionen versucht, sich dieses Dilemmas anzunehmen.

Dynamic Volume begrenzt die Dynamik des Quellmaterials und regelt automatisch laute Passagen herunter bzw. hebt leise Stellen in der Lautstärke an. Der Dialog wird dabei als Referenz angesehen und leisere bzw. lautere Passagen im Pegel entsprechend verändert. Dazu wird nicht,

wie bei fast allen ähnlichen Systemen, ein Dolby Digital 5.1 kodierter Datenstrom benötigt. So ist es möglich, jegliches Quellmaterial wie z.B. DTS HD-Master, aber auch ein gewöhnliches TV-Stereosignal, zu verarbeiten. Die Funktion steht nicht nur bei Filmen zur Verfügung, sondern auch laute Werbeblöcke können wirksam angepasst werden.
Vergleichbare ältere Pegelanpassungsverfahren greifen meist zu radikal ein, was sich in hörbaren Pegelsprüngen bemerkbar macht. Diese Verfahren arbeiten meist mit fest eingestellten Kompressorparametern, die unabhängig vom Programmmaterial, immer gleich reagieren.[45] Für die Dynamic Volume Funktion wurde anhand von empirischen Studien versucht, die Lautstärkeanpassung möglichst diskret zu gestalten. So war das Ziel, die Arbeitsweise von Toningenieuren nachzuvollziehen, die verschiedenes Quellmaterial in der Dynamik begrenzen sollten.

> *"We need to reverse engineer their decisions. Why did they turn the sound down when they did, and when they did turn it down how fast were they reacting? What were they reacting to? What was the content in every channel?"*[46]

Bei den Untersuchungen wurde auch deutlich, dass die Wahrnehmung der Lautstärke bei einem Mehrkanalsystem richtungsbezogen registriert wird. Denn bei Reduzierung des Gesamtlautstärkepegels fielen die hinteren Kanäle schneller ab als die Frontkanäle. Dies wird durch eine entsprechende Kompensation ebenfalls berücksichtigt, die außerdem die absolute Wiedergabelautstärke mit einbezieht.

Aus den so gewonnen Daten wurde der zugrundeliegende Algorithmus entwickelt, der zusätzlich mit einer kurzen „look-ahead“-Funktion ausgestattet ist, um starken Pegelschwankungen vorzugreifen.

Je nachdem, was die momentane Situation erfordert, besteht bei Dynamic Volume die Wahl zwischen Day-, Evening- und Midnightmodus, so kann zwischen unterschiedlich starker Dynamikreduktion gewählt werden. Dabei wird eine kontinuierliche Abtastung des Quellmaterials vorgenommen, um eine effiziente Dynamikreduzierung zu ermitteln. So arbeitet das System trotz deutlich reduzierter Dynamik sehr unauffällig.

Dazu trägt auch die Dynamic EQ Funktion bei, die eine Art Loudness-Schaltung darstellt. Hier wird der Umstand mitberücksichtigt, dass das menschliche Gehör bei geringerer Lautstärke sehr tief- und hochfrequente Signalanteile als zu leise wahrnimmt.[47] Mit zunehmender Abhörlautstärke relativiert sich diese Wahrnehmung und vor allem tiefe Frequenzen werden im gesamten Frequenzband als linearer empfunden. [48]

Bei vielen älteren Stereoverstärkern wird diesem Umstand mit einer Loundnessfunktion Rechnung getragen. Hier steht bei Bedarf eine Bass- und Höhenanhebung zur Verfügung, die jedoch in den meisten Fällen nicht regelbar ist, sondern mit fester EQ-Einstellung entweder zu- oder abgeschaltet werden kann.

Audyssey nahm diesen Grundgedanken auf und entwickelte auf dessen Basis den Dynamic EQ. Dieses System ermöglicht bei sämtlichen Lautsprechern und Wiedergabemodi, eine Anpassung des Frequenzbildes an die Abhörlautstärke. Je nach Stellung des Lautstärkereglers wird in Echtzeit eine Abstimmung der Frequenzbereiche durchgeführt. Diese

dynamische Funktion tritt also ebenso bei sehr lauten Abhörpegeln in Kraft, um auch hier ein differenziertes, klares Klangbild zu erhalten.[49]
Nur in Verbindung mit der dynamischen EQ-Funktion ist es letztens Dynamic Volume möglich, effektiv zu arbeiten ohne das Klangbild zu sehr zu verändern.[50] Genau dieses Eingreifen in den originalen Mix des Programmmaterials gibt aber auch Grund zu einer gewissen Skepsis dem System gegenüber. Schließlich wird die ursprüngliche Mischung des Toningenieurs in Dynamik und dem Frequenzbild verändert. Es darf aber der Umstand nicht außer Acht gelassen werden, dass nach wie vor nahezu alle Mischungen für Kinosäle ausgelegt sind und nicht für die Wiedergabe im Heimkino. So machen die grundlegenden Dynamik- und Lautstärke-unterschiede ein entsprechendes System zur Anpassung zu einem sinnvollen Feature um auch zu Hause, bei verschiedenen Lautstärken einen möglichst authentischen Kinosound zu erhalten.

5.7. Surroundaufpolierer und Digital Sound Preocessing

Jeder aktuelle Surroundreceiver bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten, Quellmaterial nach den eigenen Vorstellungen aufzubereiten. Durch den großen Bedarf ist die Integration von sogenannten Surroundaufpolierern heute zum Standard geworden. Dem Benutzer stehen damit im Heimkino verschiedene Wege zur Verfügung, aus PCM-Stereo-Material oder 5.1-codierten Medien ein vollwertiges 7.1 Signal zu generieren.[51] Die Nachfrage nach solchen Systemen wird umso deutlicher, wenn man die Ausstattung moderner AV-Receiver betrachtet. So wird die Möglichkeit, alle Endstufen zu nutzen und ein 7.1 Lautsprechersystem zu betreiben nahezu in jedem

Heimkino wahrgenommen. Im Gegensatz dazu, sind jedoch die meisten Programmmaterialien, inklusive der neuen HD-Tonformate, immer noch mit sechs Kanälen codiert. Um also alle Lautsprecher eines 7.1 Systems vernünftig mit einem Signal versorgen zu können, sind moderne Surroundaufpolierer aus dem Heimkino nicht mehr wegzudenken. Je nach Hersteller sind verschiedene, auch eigens entwickelte Systeme installiert. Die wichtigsten Surroundaufpolierer sollen nachfolgend in ihrer Funktion und Wirkung betrachtet und verglichen werden.

Dolby Pro Logic IIx ist eine Weiterentwicklung von Dolby Pro Logic II und heute sehr weit verbreitet. Das System ist speziell für eine 7.1 Wiedergabe

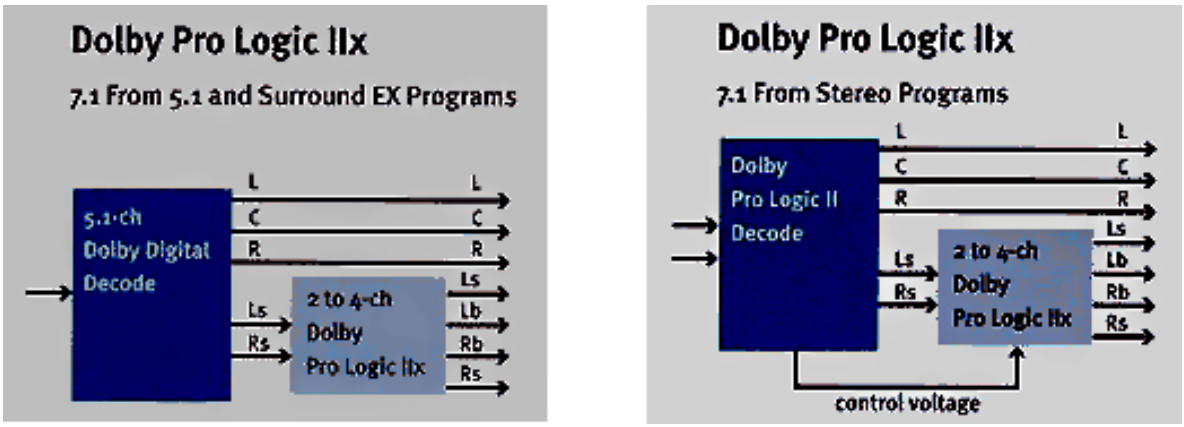


Abb. 12 **Dolby Matrix Decodierung zur 7.1 Aufbereitung von Stereo- oder Mehrkanalsignalen**

ausgelegt. Mithilfe des Dolby-Matrix-Decoders kann PCM-Stereo-, Dolby Digital 5.1- oder Dolby Digital EX-Material zu acht Kanälen aufbereitet werden.[52] Durch die zusätzlichen Kanäle wird eine dichtere Surroundkulisse erzeugt, die noch weiter an die entsprechenden Nutzungsbedingungen angepasst werden kann. So stehen ein Music-, Movie- und ein Game-Modus zur Verfügung. Während bei der Game-Einstellung tieffrequente

Surroundanteile effektvoll hervorgehoben werden, bietet der Music-Mode weitreichendere Parametereinstellungen. Mit der Center Width Control, kann der Centeranteil stufenweise auf die beiden Links- Rechtskanäle verteilt werden. Der bei der Musikwiedergabe oft störende Centerkanal kann so ausgeblendet und durch die Phantom-Mitte des linken und rechten Lautsprechers ersetzt werden. Die Dimension Control lässt eine Balanceeinstellung zwischen den Front- und Rearkanälen und somit eine Bestimmung des Surroundanteils zu. Um ein weitläufigeres Klangbild zu schaffen, ohne die Präzision der Musik zu vernachlässigen, steht zudem die Panorama-Einstellung zur Verfügung. Für die Verarbeitung hochauflösender Musikformate, ist Dolby Pro Logic IIx auch für Quellmaterial mit einer Auflösung von bis zu 192 KHz und 24 Bit konzipiert.

Im Movie-Mode steht schließlich eine vollwertige Dolby Digital EX-Unterstützung bereit. Somit können auch 6.1-codierte Quellen um einen weiteren Surroundbackkanal erweitert werden, um eine möglichst dichte Surroundkulisse zu erhalten.[53]

Ein nicht ganz so weit verbreiteter Surroundaufpolierer ist Logic 7 von Lexicon. Sonst eher für professionelle Studioprozessoren bekannt, entwickelte Lexicon hier ein System, welches qualitativ mit Dolby Pro Logic IIx zu vergleichen ist. Im Musikbetrieb wurde der besondere Schwerpunkt auf 7.1-Generierung von Stereoquellen gelegt.[54] Hier wird eine breite Bühne mit gleichzeitig großer Surroundkulisse angestrebt. Die Veränderung der Klangfarben soll ebenfalls betont gering ausfallen, was das Wiedergabeprogramm auch für Klassik-Quellmaterial anbietet. Wer ein 5.1 System betreibt, kann des Weiteren auf einen Enhanced-Bass-Modus zurückgreifen, welcher die Subwoofersignale oberhalb 40 Hz auch an die

übrigen Lautsprecher weitergibt. Diese sollten jedoch in der Lage sein, derart tiefe Frequenzen sauber wiederzugeben. Somit soll ein voller Klangeindruck erzielt werden, der sich besonders für moderne Pop- und Rockmusik anbietet.
Mit dem Cinema-Modus ist Logic 7 ebenfalls gut für das Heimkino vorbereitet, dieser ist speziell für Dolby Digital-codiertes Material vorgesehen. So soll die Wiedergabe im Vergleich zu Dolby Pro Logic IIx etwas weniger voluminös, dafür aber sehr detailliert und klar erfolgen. Ein hochwertiges Lautsprechersystem vorausgesetzt, stellt Logic 7 also durchaus eine Alternative zu Pro Logic IIx dar.[55]

Neben den Surroundaufpolierern implementiert nahezu jeder Hersteller noch weitere Wiedergabeprogramme, meist um spezielle räumliche Gegebenheiten akustisch nachzubilden. Das sogenannte Digital Sound Preocessing (DSP) stellt kreative Möglichkeiten zur Verfügung, analoge Mono- bzw. Stereoquellen oder digitale Dolby Digital- bzw. DTS-codierte Signale aufzubereiten. Je nach Hersteller und Preislage sind in einem modernen AV-Receiver unterschiedliche Programme zur Bearbeitung von Musik und Filmen im Heimkino verfügbar. Bewusst werden hier Änderungen im Klangbild in Kauf genommen und die ursprüngliche Mischung in Klangfarben und Raumeindruck verändert. DSP-Programme sind als zusätzliches Feature zum Experimentieren zu sehen, mit der sich, stark vom Quellmaterial abhängig, zum Teil außergewöhnliche Ergebnisse erzielen lassen. Speziell für Klassik- und Jazz-DVDs ist diese Option aber oft ungeeignet, da der originale Raumeindruck grob verändert wird und somit ein wesentlicher Bestandteil einer guten Aufnahme unwirksam wird. Im

Gegensatz dazu kann bei zurückhaltend abgemischten Filmen und Soundtracks ein zusätzlicher DSP-Wiedergabemodus das Klangbild auffrischen. Wird dann noch eine besonders weitläufige, effektbetonte Wiedergabe bevorzugt, stellen DSP-Programme eine interessante Alternative dar. Meist werden auch hier wieder vielfältige Möglichkeiten geboten, das DSP den individuellen Vorlieben anzupassen. Häufig stehen Parameter für die Größe des virtuellen Raumes, den Hallanteil und die Beschaffenheit des Halleffekts zur Verfügung sowie Einstellungen im Bassbereich.[56]

Manche Firmen gehen noch einen Schritt weiter. So werden die 7.1 Kanäle in verschiedene Soundfelder unterteilt, die getrennt mit dem DSP-Programm berechnet werden. Die akustischen Daten für eine bestimmte Räumlichkeit werden dann auch nicht mehr programmiert, sondern an den jeweiligen Orten direkt aufgezeichnet. Diese so entstandene Raumantwort repräsentiert dann die Akustik einer speziellen Konzerthalle, eines Kinosaals oder die besondere Atmosphäre eines berühmten Jazzclubs und wird als Basis für das DSP-Programm verwendet. Hier stehen dann auch wesentlich detailreichere Veränderungen des Programms mittels beträchtlicher Parameterauswahl zur Verfügung. Auch wird bei manchen Systemen sogar die Elevation mitberücksichtigt und dazu das 7.1 Setup um zwei sogenannte Presence-Lautsprecher über den Frontlautsprechern erweitert.[57] Solch aufwendige Maßnahmen spiegeln sich dann in der Qualität, aber auch im Preis wider. Besonders für experimentierfreudige Heimkinobesitzer wird eine solche DSP-Implementierung stets eine willkommene Erweiterung der Soundmöglichkeiten darstellen.

6. Lautsprechersysteme im Heimkino

Das letzte Glied der Wiedergabekette stellt das Lautsprechersystem dar. Zusammen mit der Raumakustik hat diese Komponente einen sehr großen Anteil am Klang des Heimkinos. Für die verschiedenen Anforderungen und individuellen Gegebenheiten eines Hörraumes stehen zahlreiche Möglichkeiten der Schallwandlung zur Verfügung. So gibt es diverse Ansätze, die den jeweils speziellen Systemen und deren Wiedergabe-philosophie zugrunde liegen.

Neben der klassischen Aufstellung mit sieben gleichen Vollbereichs-Surroundlautsprechern samt aktivem Subwoofer, wird auch häufig ein Sub/Sat-System eingesetzt. Hier sind für die sieben Kanäle kleinere Satellitenlautsprecher zuständig, die nur bis zur Übernahmefrequenz des Subwoofers spielen und somit keine wirklich tieffrequenten Signale übernehmen müssen. Eine weitere, platzsparende Variante stellen Systeme dar, die mit nur einem einzigen bzw. zwei aufwendig konstruierten Frontlautsprechersystemen einen virtuellen Surroundklang erzeugen. Ein extra Schallwandler für die tiefsten Töne, ist jedoch auch hier unverzichtbar.

Zuerst sollen die verschiedenen Lautsprechertypen, die bei einer konventionellen Aufstellung, die bis zu acht Kanäle innerhalb des Heinkinos wiedergeben, kurz vorgestellt und auf deren spezifische Funktionen eingegangen werden. Danach werden die drei erwähnten Arten von Lautsprechersystemen genauer betrachtet und verglichen, da diese im Großteil aller Heimkinos Verwendung finden.[58]

6.1. Lautsprechertypen und Funktion

Um der Aufgabe an der jeweiligen Position und den räumlichen Gegebenheiten im Heimkino gerecht zu werden, bestehen viele Lautsprechersets aus leicht abgewandelten Konstruktionen. Diese sind speziell für die Anforderungen des entsprechenden Wiedergabekanals optimiert und unterschieden sich häufig in der Anzahl und Anordnung der verbauten Chassis. Um die Homogenität des Sets zu gewährleisten, ist der Typ der verwendeten Hoch- und Tiefmittel- bzw. Mitteltöner und die Abstimmung der Frequenzweiche bei den verschiedenen Lautsprechern jedoch meist sehr ähnlich oder gleich. Im Folgenden sollen nun die vier üblich eingesetzten Boxentypen betrachtet werden.

6.1.1. Centerlautsprecher

Den wichtigsten Lautsprecher eines Heimkinosystems stellt der Center dar. Dieser gibt den gleichnamigen Kanal eines Mehrkanalsystems wieder und damit unter anderem nahezu alle dialogrelevanten Anteile des Audiosignals. Im Gegensatz zu der von zwei Lautsprechern eines Stereosystems resultierenden Phantom-Mitte sorgt ein extra Centerspeaker für eine zentrale Dialogortung, selbst bei einer seitlichen Sitzposition, fern des Sweetspots.

Um die mittige Installation über oder unter dem Display bzw. der Leinwand zu vereinfachen, sind Centerlautsprecher meist in liegender D'Apollito-Anordnung[59] konstruiert. Diese Konstruktion besteht aus zwei Tiefmittel- bzw. Mitteltönern, die den Hochtöner symmetrisch, auf horizontaler Ebene einschließen und jeweils parallel betrieben werden. So werden bis zur

Übernahmefrequenz des Hochtöners alle Frequenzen gleich abgestrahlt und es entsteht durch Phasenverschiebungen und Interferenzeffekte eine in der Horizontalen gebündelte Wiedergabe. Das ursprünglich für die bei Standlautsprechern vertikale, übereinander arrangierte Lautsprecheranordnung erdachte Prinzip ist also eigentlich für eine liegende Center-Konstruktion denkbar ungeeignet, da hier eine horizontal breite, für möglichst viele Zuhörer gut verständliche Wiedergabe gefordert ist. Stattdessen strahlen diese liegenden Center eher Richtung Boden und Decke breiter ab. Dieser Effekt wird jedoch für die einfachere Positionierung in Kauf genommen, bzw. von den Lautsprecher Firmen so gut wie möglich minimiert. So kann ein guter Centerlautsprecher an seiner Fähigkeit erkannt werden, speziell in der Horizontalen ein möglichst breites, ausgewogenes Abstrahlverhalten zu erlangen und damit auch die seitlich angeordneten Hörplätze ausreichend zu beschallen. Speziell beim Center sollte ein nicht zu

Abb. 13 **Centerlautsprecher in der D'Apollito-anordnung**

Abb. 14 **Center mit vertikal angeordneter Mittel-Hochtoneinheit zur weiteren Verbesserung der horizontalen Abstrahlcharakteristik**

kleiner, belastbarer und qualitativ sehr hochwertiger Lautsprecher zum Einsatz kommen, da hier nicht nur bei Filmen, sondern vor allem bei der Musikwiedergabe eine hohe Leistung erbracht werden muss, um speziell Stimmen sauber und deutlich reproduzieren zu können.[60]

6.1.2. Surroundlautsprecher

Die zwei oder vier Lautsprecher für die Wiedergabe der Surround- bzw. Surroundbackkanäle sind für die Effekte und die Surroundkulisse zuständig. Der räumliche Eindruck der Mehrkanalmischung kommt maßgeblich über diese Lautsprecher zustande. Sie werden oft relativ klein dimensioniert, da so eine Integration im Heimkino leichter und unauffälliger möglich ist. Speziell mit den neuen Tonformaten werden jedoch auch die hinteren Surroundkanäle über das gesamte Frequenzband angesteuert. So ist bei entsprechend kleinen Systemen eine Kooperation mit einem aktiven Subwoofer zwingend erforderlich, um auch heftige Tiefbasssequenzen reproduzieren zu können.

Abb. 15 **Dipol-Lautsprecher mit zusätzlichem rückwärtigen Hochtöner**

Oft ist im hinteren Bereich ein diffuserer Klang gewünscht, um eine umhüllende Surroundkulisse zu erhalten. So finden in dieser Position gerne Dipol-Lautsprecher Verwendung. Die Besonderheit dieser Konstruktion besteht aus zwei Hochtönern, von denen einer auf der Vorderseite und der andere auf der Rückseite installiert ist. Die

rückwärtige Kalotte strahlt das Signal jedoch phasenverkehrt ab. Dies hat mit entsprechender Lautsprecherausrichtung, bei der die Seite des Lautsprechers zum Hörplatz zeigt, eine Auslöschung des Direktschalls an dieser Stelle zur Folge. Es werden also am optimalen Hörplatz nur die Reflektionen von Wänden, Decke und Boden wahrgenommen. Dieser Effekt wird durch die meist sehr breite Abstrahlcharakteristik der Hochtöner noch verstärkt, was die Reflektionen zusätzlich intensiviert. Solche Konstruktionen bringen prinzip-bedingt auch Verfärbungen der ursprünglichen Klangfarben mit sich, da durch die Überlagerung der reflektierten Signale, Kammfiltereffekte unvermeidbar sind. Im Heimkino, wo speziell die Filmwiedergabe und somit Surroundeffekte im Vordergrund stehen, wird diese Beeinträchtigung jedoch als eher gering eingestuft.[61]

Ganz im Gegenteil zur mehrkanaligen Musikwiedergabe. Hier sind unerwünschte Phasenüberlagerungen und die diffuse Wiedergabe eines Dipols sehr störend. Viele solcher Konstruktionen weisen deshalb eine Stummschaltung des hinteren Hochtöners auf und machen damit eine Nutzung als herkömmlichen Kompaktlautsprecher möglich. In Verbindung mit einem schwenkbaren Stativ oder einer entsprechenden Wandhalterung kann ein Dipol-Lautsprecher so direkt auf den Hörplatz ausgerichtet werden und je nach Bedarf als Direktstrahler eingesetzt werden.[62]

6.1.3. Hauptlautsprecher

Für die Wiedergabe der rechten und linken vorderen Kanäle stehen die beiden Hauptlautsprecher zur Verfügung. Sie tragen neben dem Center die Hauptlast einer Mehrkanalmischung und sind in einem gemischten Lautsprecherset oft als hochwertige Standlautsprecher ausgeführt. Dies hat

auch den Grund, dass bei einer zusätzlichen Nutzung des Heimkinos im Stereobereich, meist klangstarke Speaker mit einer entsprechenden Qualität zur Verfügung stehen. Gerade auch bei einem imposanten Soundtrack machen sich gute Hauptlautsprecher bemerkbar, da über diese maßgeblich die Filmmusik wiedergegeben wird.

Es können hier jedoch je nach Surroundsystem sowohl große Standlautsprecher als auch kleinere Kompaktlautsprecher zum Einsatz kommen.

Für ein ernstzunehmendes System, sollten die Hauptlautsprecher aber auch ohne die Unterstützung eines aktiven Subwoofers sauber bis in den Bassbereich abgestimmt sein und somit auch eine Nutzung der Anlage im Stereobereich ermöglichen.[63]

6.1.4. Aktiver Subwoofer

In vielen Heimkinos fehlt oft der nötige Platz, um große Standlautsprecher mit gebührendem Wandabstand frei aufstellen zu können. Auch der sogenannte Woman Acceptance Factor (WAF)[64] trägt häufig dazu bei, dass im Hörraum kleinere Regallautsprecher verwendet werden. Dieser Aufbau stellt bei sauberer Abstimmung und Aufstellung keines Wegs einen Nachteil dar, sondern kann mit einem guten aktiven Subwoofer ebenfalls als hochwertiges Lautsprechersystem agieren. Aber auch der in jeder Mehrkanalmischung extra für die tiefen Frequenzen enthaltene LFE-Kanal

(„Low Frequency Effect“ bei Dolby bzw. „Low Frequency Enhancement“ bei DTS)[65] setzt den Einsatz eines aktiven Subwoofers voraus.

Diese Spezialkonstruktionen sind nur für tiefe Frequenzen ausgelegt und übernehmen unterhalb der meist frei einstellbaren Übernahmefrequenz die Bassarbeit der übrigen Lautsprecher des Systems. Diese Trennfrequenzen liegen je nach den tieffrequenten Fähigkeiten der Lautsprecher für gewöhnlich bei ca. 70 Hz bis 100 Hz. Gute Konstruktionen spielen dann linear bis ca. 30 Hz und erreichen hier immer noch einen Schalldruck von etwa 110 dB.[66]

Der Zugewinn an Basskraft, Räumlichkeit und Authentizität macht den aktiven Tieftöner zu einem festen Bestandteil jedes Heimkinos. So haben auch alle Lautsprecherhersteller meist mehrere Modelle in ihrem Programm, passend auf die jeweilige Boxenserie abgestimmt. Dabei müssen die Konstruktionen nicht zwingend übermäßig groß sein, um effektive Leistungen zu erzielen. Moderne Subwoofer erbringen heute, Dank einer ständigen technischen Weiterentwicklung, bei relativ moderaten Abmessungen sehr gute Werte in Punkto Pegelfestigkeit und Tiefgang. Dies wird durch einen großen Hub, also der maximalen peak to peak-Auslenkung der Membran, erreicht. Um z.B. bei 40 Hz den gleichen Schalldruck wie bei einem 80 Hz Ton zu erreichen, muss der Membranhub quadratisch ansteigen, da das nötige, zu bewegende Luftvolumen in diesem Fall ebenfalls quadratisch zunimmt. Um Membranfläche einzusparen, ist dieser Parameter also sehr wichtig. Bei guten aktuellen Subwoofern werden Werte von ca. 8 cm Membranauslenkung erreicht. Dafür ist wiederum eine sehr große Leistung des eingebauten Verstärkermoduls nötig. Diese häufig in digitaler Class-D-Technik

konstruierten Verstärker erreichen, bei sehr geringer Verlustleistung, nicht selten Werte von über 500 Watt Sinusleistung.

Heimkinosubwoofer sind meist als geschlossene Gehäusekonstruktion, als Bassreflexprinzip oder in Kombination dieser beiden Prinzipe gefertigt. Mit der Bassreflexkonstruktion lässt sich Membranfläche, Verstärkerleistung und Lautsprecher-Hub einsparen. Jedoch kann es durch die heftige Luftbewegung zu ungewollten Strömungsgeräuschen im Reflexrohr kommen. Dies ist bei den hohen Windgeschwindigkeiten im Reflexkanal nur dann zu vermeiden, wenn die Aus- und Einlässe an den Kanten des Kanals sauber abgerundet sind und eine verwirbelungsarme Luftbewegung begünstigen. Um dieses Problem ganz zu vermeiden, nutzen manche Hersteller eine Passivmembran anstelle einer Reflexöffnung. Diese Membran wird nur durch die Membranbewegung des aktiven Chassis und die so im Inneren der Box entstehenden Druckschwankungen angetrieben. Da der offene Kanal wegfällt, sind hier keinerlei zusätzliche Geräuschartefakte zu vernehmen.

Abb. 18 **direkt abstrahlender Subwoofer**

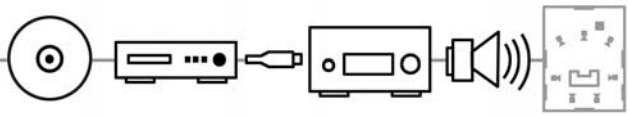
Die Bauweise mit geschlossenem Gehäuse und direkt strahlenden Basschassis hat meist eine sauberere, impulstreue Wiedergabe zur Folge, die speziell bei Musikstücken oft bevorzugt wird. Um diesen Aspekt auszunutzen, muss das System jedoch sehr sorgfältig konstruiert sein und ein entsprechendes Chassis aufweisen. Hier muss der Aspekt beachtet werden,

dass durch einen zu großen Membranhub die Impulstreue zunehmend leidet und durch eine alternative, große Membranfläche die zu bewegende Masse steigt, was sich ebenfalls nicht sehr vorteilhaft auf das Impulsverhalten eines Lautsprechers auswirkt.
Die Kombination schließlich verbindet den Direktstrahler mit einem Bassreflexkanal und versucht das Beste aus beiden Prinzipien zu vereinen. Somit stehen unterschiedliche Möglichkeiten der Beschallung im Bassbereich zur Verfügung. Bei der Wahl für das entsprechende Heimkino sollte jedoch klar sein, wo die Präferenzen liegen. Ob ein pegelstarker Subwoofer mit großen Reserven für laute Filmeffekte gewünscht wird, oder eine präzise, impulstreue geschlossene Konstruktion für eine besonders saubere Wiedergabe bevorzugt wird.[67]

6.2. Unterschiedliche Lautsprechersysteme

6.2.1. Sub-Sat-Systeme

Den größten Anteil an den Lautsprecheranlagen im Heimkino haben Systeme, die aus kleineren Regalboxen und mindestens einem Subwoofer bestehen. Dieser Aufbau ist relativ wohnzimmerfreundlich und auch der WAF stellt hier meist kein größeres Problem dar. Bei den Satelliten ist darauf zu achten, dass diese in der Lage sind, sauber bis zur Ankopplung des Subwoofers bei meist ca. 80 Hz zu spielen. Ab da übernimmt dieser und sorgt für die im Heimkino sehr wichtigen Effekte im tieffrequenten Bereich. Auch wenn sie so im Bassbereich entlastet werden, ist eine detaillierte und neutrale Mittel- Hochtonwiedergabe der Kompaktlautsprecher fundamental wichtig für eine naturgetreue Surroundkulisse. So sind günstige



Komplettsysteme mit sehr kleinen Lautsprechern, die oft überwiegend aus dünnem Plastik bestehen, keine ernstzunehmende Alternative für ein ambitioniertes Heimkino. Diese optisch meist sehr ansprechenden und unauffällig zu platzierenden Miniaturlautsprecher können die physikalischen Vorrausetzungen für einen gut konstruierten Kompaktlautsprecher in Bezug auf Bandbreite und Gehäuseresonanzen meist nicht erfüllen und sollten mit Vorsicht betrachtet werden. Oft erreichen sie die angestrebte Subwoofer-Übernahmefrequenz von 80 bis 100 Hz nicht und müssen zwangsläufig bei einer zu hohen Frequenz an den Subwoofer übergeben. Wird ein Woofer jedoch schon ab ca. 150 Hz oder höher angesteuert, sind die tiefen Frequenzen zunehmend ortbar und der produzierte Tiefbass ist störend einer bestimmten Schallquelle zuzuordnen.
Viele Firmen bieten hochwertige Komplettsysteme für einen 5.1- oder 7.1-Aufbau an und stimmen die Sub-Sat-Kombinationen schon passend aufeinander ab.

6.2.2. Fullrange-Lautsprechersysteme

Auch wenn ein System ausschließlich aus Lautsprechern besteht, die das gesamte Frequenzspektrum abbilden können, ist ein aktiver Subwoofer dennoch zu empfehlen.
Die Fähigkeit eines Standlautsprechers auch sehr tiefe Frequenzen wiederzugeben, steht hier in keinem Wiederspruch zum Einsatz eines Subwoofers, da durch eine zusätzliche Abstrahlung tiefer Frequenzen der Raum meist gleichmäßiger und somit ausgewogener angeregt wird. Dies muss jedoch für jeden Raum individuell betrachtet werden und hängt ebenfalls von der Lautsprecherplatzierung ab. Beim Heimkinoreceiver kann

hierfür meist im Bassmanagement ausgewählt werden, ob der LFE-Kanal allein vom Subwoofer, oder zusätzlich über die Frontlautsprecher wiedergegeben werden soll.
Des Weiteren kann es auch Vorteile bringen, wenn Fullrange-Lautsprecher nicht ganz bis zu den tiefsten Frequenzen hin betrieben werden, sondern den letzten tiefen Frequenzbereich dem extra dafür konstruieren Subwoofer überlassen. AV-Receiver bieten hier ebenfalls für jeden Lautsprecher des Systems eine Einstufung in small und large an. Standlautsprecher die auf small eingestellt sind, geben dann bei einer frei wählbaren Übernahmefrequenz die kräftezehrende Bassarbeit an den Subwoofer ab. Wird die Übernahmefrequenz sehr tief bei ca. 50 bis 60 Hz gewählt, werden auch Standlautsprecher wirksam entlastet und können deutlich unangestrengter und mit größeren Pegelreserven sauber aufspielen. Dies muss wiederum für jedes Heimkino eigenständig betrachtet und getestet werden.

6.2.3. Virtuelle Surroundsysteme

Besteht aus verschiedenen ästhetischen oder räumlichen Gründen kein Platz für ein vollwertiges Lautsprechersystem mit bis zu sieben (kompakten) Lautsprechern, bieten verschiedene Firmen neu entwickelte Systeme an, für die Erzeugung einer virtuellen Surroundkulisse. Die Ursprünge dieser Prinzipien liegen schon einige Zeit zurück, stellen aber durch eine stetige Weiterentwicklung eine durchaus interessante Alternative dar, die eine nähere Betrachtung lohnt. Es stehen hauptsächlich zwei Systemvarianten im Vordergrund.

Das erste System erzeugt den Surroundsound mit nur einer aufwendigen Lautsprecherkonstruktion, welche vorne unter dem Bildwiedergabegerät platziert wird. Dies kann sehr geschickt in einem Regal oder einem entsprechenden Rack geschehen und macht das meist sehr flache und breite System sehr unauffällig einsetzbar. Somit ist das oft wichtigste Kriterium der Entscheidung für ein solches System schon gegeben. Hinzu kommt, dass nicht nur einige Lautsprecher samt eventueller Ständer oder Wandhalterungen eingespart werden, sondern auch eine nicht zu unterschätzende Menge an Lautsprecher-Kabelwegen. Der zusätzliche aktive Subwoofer ist jedoch auch hier wieder unverzichtbar und wird nahezu immer passend abgestimmt zum Fronlautsprechersystem mitgeliefert.

Hinter dieser Art von virtuellem Surroundsound steht das Prinzip der Schallrefflektion. Die vordere Lautsprecherkonstruktion projiziert spezielle Anteile der Mehrkanalmischung gezielt an Seiten- und Rückwände und lässt den Schall so über diese zum Zuhörer gelangen. Um dies zu ermöglichen ist eine gezielte Abstrahlung der verschiedenen Kanalinformationen nötig. Hierfür macht sich das System die Schallbündelung von Lautsprecherzeilen zunutze: Werden viele kleine Lautsprecherchassis übereinander platziert, bündelt die Anordnung den Schall in der Vertikalen und vermeidet so weitgehend Boden- und Deckenrefflektionen. Ein Prinzip, welches mit sehr langen schmalen Lautsprecherkonstruktionen auch oft in Turnhallen oder Kirchen Anwendung findet.

Ein 5.1 System für das Heimkino muss nun für alle fünf virtuellen Lautsprecher einen eigenen Schallstrahl kreieren und unterteilt dafür die ca. 40 münzgroßen Chassis, die in einer solchen Konstruktion samt eigenem

Abb. 19

Verstärker, flankiert von zwei zusätzlichen Mitteltönern arbeiten, in spezielle Bereiche. Ein Teil der Chassis ist für die direkte Abstrahlung des Centerkanals zuständig, während die übrigen Kanäle je nach Einstellung über Wandreflektionen beim Zuhörer ankommen. Dabei werden die einzelnen Chassis nicht einem festen Kanal zugeordnet, sondern sind anteilsmäßig für mehrere Schallstrahlen zuständig. In Kombination mit einer aufwendigen Berechnung und einer damit verbundenen Verzögerung einzelner Chassis kann mit einem derartigen System durchaus ein klarer Surroundeindruck entstehen.[68]

Abb. 20 **Reflektionsprinzip eines virtuellen Surroundsystems**

Begrenzt wird dies jedoch maßgeblich von der Beschaffenheit des Raumes. Ist der Hörraum nicht annähernd quadratisch und die seitlichen Wände bzw. die Rückwand nicht ähnlich beschaffen, leidet die Wandreflektion sehr schnell und das System gerät an seine Grenzen. Um dies und die gesamte Einrichtung der Konstruktion zu optimieren, wird auch hier meist ein Einmessverfahren samt mitgeliefertem Messmikrofon angeboten.

Die Eigenheiten des Raumes werden somit bis zu einem gewissen Punkt erkannt und möglichst ausgeglichen. Ein weiteres Problem ist die relativ kleine optimale Hörzone, die ein derartiges System prinzipbedingt erschaffen kann. Somit liegt das Einsatzbereich eher bei einem kleineren Wohnzimmer, welches optisch möglicht kaum für die Mehrkanal-wiedergabe verändert werden soll. Für ein ambitioniertes Heimkino, in dem die mögliche Dynamik der neuen Tonformate sauber hör- und spürbar genutzt werden soll, empfiehlt sich nach wie vor ein konventionelles Lautsprechersystem. Ein weiteres virtuelles Soundsystem macht sich die Head Realated Transfer Function (HRTF)[69] zunutze. Diese definiert bestimmte Faktoren zur Ortung einer Schallquelle beim Menschen. Die wahr-genommene Richtung des Schalls hängt vom Laufzeitunterschied zwischen den Ohren, von der Lautstärke und dem Phasenunterschied ab. Diese Größen verändern sich durch die Form und Ausrichtung des Kopfes und werden stets im Verhältnis zur Schallquelle verglichen und überprüft. Bestimmte Systeme errechnen aufwendig diese akustischen Informationen, stimmen sie mit dem Mehrkanalsignal ab und geben das Ergebnis über ein aktives System mit zwei speziellen Lautsprechern aus. Zusätzlich sorgt auch hier ein Subwoofer für die nicht ortbaren tiefsten Frequenzen. Wichtig für diese Entwicklung ist eine 24 Bit HRTF, diese soll sogar eine Wiedergabe von 7.1 Signalen mit entsprechender Klarheit und Ortbarkeit möglich machen.[70] Zwar ist hier die Beschaffenheit des Raumes unerheblich, da nicht mit Wandreflektionen gearbeitet wird, wie bei den meisten dieser virtuellen Systeme ist jedoch auch hier der Sweetspot[71], also der Bereich in dem das System optimal zur Geltung kommt, recht klein.

7. Raum für das Heimkino

Der Klang, welcher an der geplanten Hörzone des Heimkinos wahrgenommen wird, hängt natürlich von der Qualität der verwendeten Audiokomponenten ab, diese allein sind aber noch kein Garant für einen ausgewogenen Raumklang.
Damit in den eigenen vier Wänden eine saubere, detailreiche Klangfarbe erzielt werden kann, gilt es, die Beschaffenheit des geplanten Heimkinoraumes, die Wahl der Lautsprecher und deren Aufstellung sowie die Hörposition genauer zu betrachten. Diese Punkte werden gerne bei der Planung unterschätzt, sie stellen jedoch den, nicht für jeden gleich nachvollziehbaren, wichtigsten Teil des Surroundsystems dar. Anstatt also Unmengen von Geld in teures Equipment zu investieren, macht es deutlich mehr Sinn, sich Gedanken zum Hörraum und dessen Einrichtung zu machen. Denn ein gutes Surroundsystem wird sein ganzes klangliches Potenzial in einem akustisch unzureichenden Raum nicht voll ausspielen können, wenn bei der Wahl und der Gestaltung der Örtlichkeit nicht einige Parameter berücksichtigt werden.

7.1. Raumgröße und Proportionen

In den wenigsten Fällen wird ein Heimkino schon bei der Bauplanung mitberücksichtigt und dementsprechend akustische Vorkehrungen bezüglich des Grundrisses getroffen. So wird das eigene Kino meist nachträglich in den schon vorhandenen Wohnraum integriert. Hier sieht man sich folglich oft mit Problemen konfrontiert, die das akustische Erlebnis

beträchtlich schmälern können. Hat man die Möglichkeit, die Maße des zukünftigen Heimkinos schon bei dem Entwurf der geplanten Räumlichkeit mit einzukalkulieren, können viele akustische Probleme minimiert werden, bevor sie überhaupt entstehen.

Um die Raumgröße richtig wählen zu können, sollte klar sein, für wie viele Plätze das Heimkino ausgelegt sein soll. Wird nur ein Sofa für zwei Personen verwendet, oder sollen mehrere Sitzreihen hintereinander deutlich mehr Zuschauern Platz bieten? Ungeachtet der Personenzahl muss jedoch ein Mindestabstand zwischen Hörzone und Lautsprechern eingehalten werden, da sich der Schall sonst nicht von den Lautsprechern lösen und es zu keiner räumlichen Surroundkulisse kommen kann. Zu den Frontspeakern sollte der Abstand mindestens 2,5 Meter betragen, während die Surround-backspeaker ein Minimum von einem Meter zur Hörzone aufweisen sollten. Hier wird deutlich, dass der Raum eine Mindestlänge von ca. 5 Metern haben sollte, um ein ordentliches Surroundsystem aufbauen zu können. Die Raumgröße sollte die Grenze von 15m² nicht unterschreiten, da der Rezipient sonst zu nahe an den Lautsprecher sitzt und der räumliche Höreindruck verlorengeht. Ab einer Raumgröße von 20 m² lassen sich schon sehr ordentliche Ergebnisse erzielen, wohingegen Räume ab 70 m² wieder kritisch sind, da nur wenige für den Heimbereich konzipierte Soundsysteme einen derartig großen Raum akustisch füllen können. Hier kann es zu einem dünnen und halligen Höreindruck kommen. Ab einer Größe von 50 m² kommen daher nur noch Anlagen mit mehreren Subwoofern oder relativ großen klangstarken Lautsprechern infrage, die vor allem eine kontrollierte Abstrahlung aufweisen. Dies ist speziell bei Systemen mit THX-Ultra oder THX-Ultra 2 gewährleistet.[72] Das durchschnittliche deutsche Wohnzimmer hat

also mit seinen ca. 20 m² - 35 m² gute Voraussetzungen und volle Flexibilität für die Gestaltung eines guten Hörraumes.[73]

Die Symmetrie des Heimkinoraumes spielt ebenfalls eine Rolle. Die Raumhälften sollten möglichst symmetrisch zum mittleren Hörplatz ausgerichtet sein, um eine gleichmäßiges Klangbild zu erzielen.[74]

Bei der Wahl des Kinoraumes, sollte darauf geachtet werden, dass der Grundriss weder exakt quadratisch noch zu länglich konstruiert ist. Für das Verhältnis von Länge, Breite und Höhe des Raumes gibt es verschiedene Ansätze. Der Akustiker M. Louden hat hierzu eine Tabelle mit zehn Raumverhältnissen errechnet, die eine möglichst günstige Verteilung der Eigenresonanzen eines Raumes darstellen. Diese Berechnungen gehen von einem rechteckigen Raum aus und werden oft für die Planung des Heimkinoraumes herangezogen.

Günstige Raumproportionen

nach M. Louden

1.	**1 – 1,9 – 1,4**	**2.**	**1 – 1,9 – 1,3**
3.	**1 – 1,5 – 2,1**	**4.**	**1 – 1,5 – 2,2**
5.	**1 – 1,2 – 1,5**	**6.**	**1 – 1,4 – 2,1**
7.	**1 – 1,1 – 1,4**	**8.**	**1 – 1,8 – 1,4**
9.	**1 – 1,6 – 2,1**	**10.**	**1 – 1,2 – 1,4**

Berechnungen des Akustikers M. Louden mit deren Hilfe sich ein günstiges Seitenverhältnis in Bezug auf die Raummodenverteilung erzielen lässt. Ausgehend von einer festen Höhe werden hier günstige Proportionen für die Länge und Breite Hörraumes dargestellt.[75]

Es ist also vor allem wichtig, dass die drei Seiten eines Raumes keine ganzzahligen Vielfachen voneinander bilden. Denn sonst werden die als stehende Wellen bezeichneten Eigenresonanzfrequenzen des Hörraumes begüngstigt.[76]

7.2. Raumakustik des Heimkinos – Probleme und Optimierung

7.2.1. Probleme

Das grundlegende Problem zeichnet sich bei nahezu allen Wohnräumen ab, die als Heimkino genutzt werden sollen und besteht aus zwei oder mehreren parallelen schallharten Wänden eines herkömmlichen Zimmers. Der Schall wird hier zwischen den Wänden reflektiert. Dabei kommt es zu Überlagerungen von Wellenfronten gleicher Frequenz und gleicher Amplitude. Treffen zwei gleiche Phasen eines Signals aufeinander, kommt es zu Überhöhungen der Amplitude an dieser Stelle. Dies führt zu einer (punktuell) dröhnenden Basswiedergabe. Trifft eine negative Phase auf eine positive, findet ein akustischer Kurzschluss statt und das Signal löscht sich an dieser Stelle nahezu aus. Vor allem bei größeren Wellenlängen, im tieffrequenten Bereich bis ca. 200 Hz, ist dieses Phänomen für eine saubere Wiedergabe sehr störend.[77]

Die Problemfrequenzen eines Raumes hängen hierbei vom Abstand der parallelen Wände ab und lassen sich recht einfach ermitteln. Zunächst wird die als Grundmode bezeichnete erste stehende Welle berechnet.

$$f_1 = \frac{c}{2 * L}$$

f_1 = Grundmode
c = Schallgeschwindigkeit (343 m/s bei 20°C)
L = Raumlänge

Weitere Moden, also Schwingungen mit Knotenpunkten, bilden sich bei den ganzzahligen Vielfachen der Grundmode aus. Diese stellen die Eigenresonanzfrequenzen des speziellen Hörraumes dar.[78]

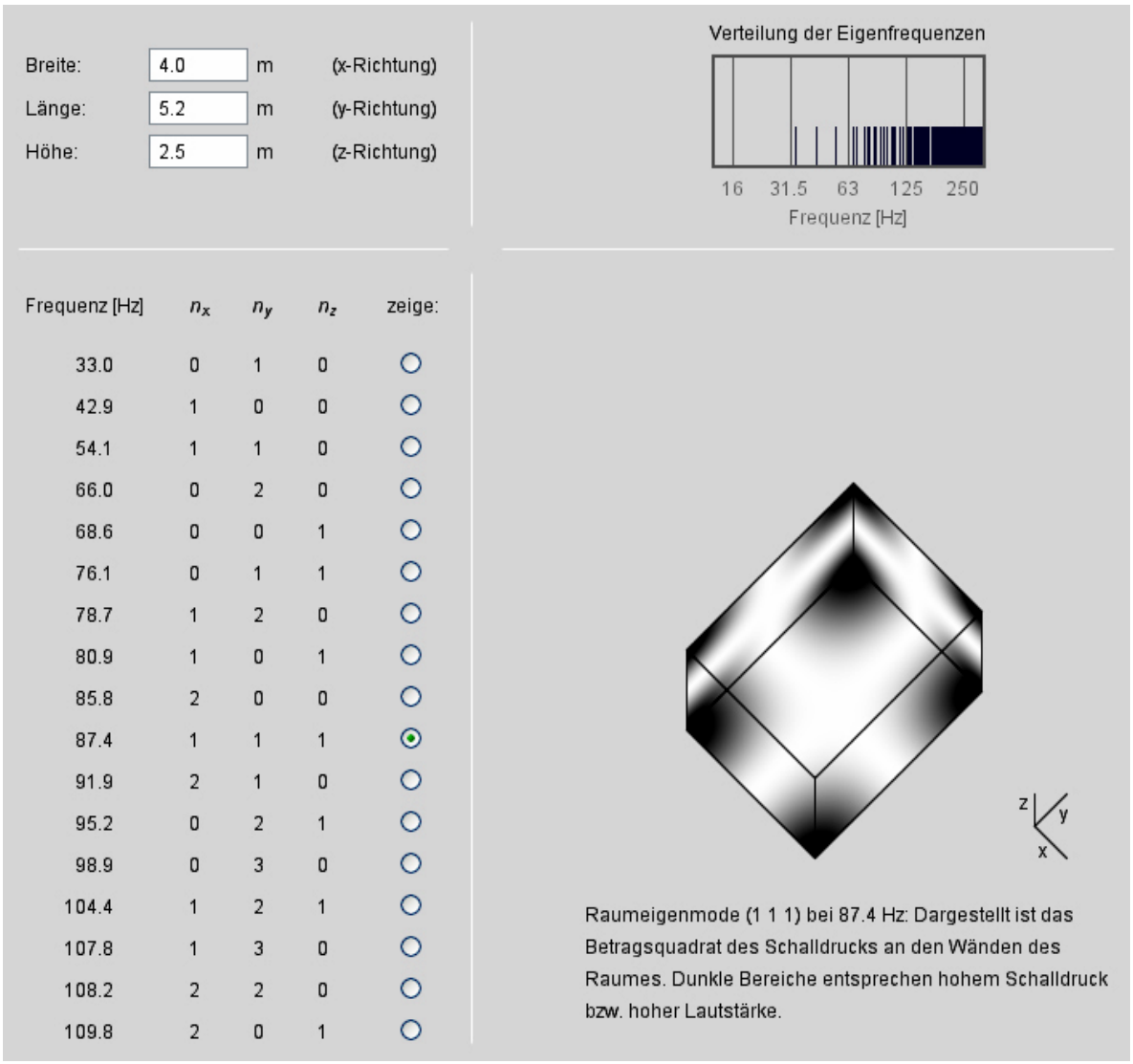


Abb. 21 **Tool zur Berechnung der Raumeigenresonanzfrequenzen. Es können Grundmoden in allen drei Raumdimensionen und deren Vielfache angezeigt werden**

Hinzu kommt, dass die Resonanzfrequenzen eines Raumes auch zeitlich länger ausklingen als andere Frequenzen und es somit zu Verdeckungseffekten bei benachbarten Frequenzen nachfolgender Töne kommt. [79]

Bei den meisten Audiosystemen eines Heimkinos kommen nun zumindest für die drei Frontkanäle bassstarke Standlautsprecher bzw. ein tiefreichender Centerlautsprecher zum Einsatz. Diese Anordnung wird dann noch um einen Subwoofer ergänzt, was insgesamt zu einer sehr dynamischen Basswiedergabe führt und nicht selten bis zu einer unteren Grenzfrequenz von 20 Hz hinabreicht.[80]

Somit wird der Raum bei tiefsten Frequenzen sehr stark angeregt und es kommt im Bereich der Raummoden zu starken Überhöhungen und Auslöschungen im Frequenzgang. So kann es vorkommen, dass an einer Hörposition im Raum ein dröhnender, überhöhter Bass wahrgenommen wird, während knapp daneben eine nahezu vollständige Auslöschung der gleichen tiefen Frequenzen auszumachen ist.

7.2.2. Optimierung der tieffrequenten Wiedergabe

7.2.2.1. Aktive Optimierung mittels Double Bass Array (DBA)

Diese Maßnahme zur Verbesserung der Raumakustik ist speziell für die problematischen Raummoden im Tiefbassbereich vorgesehen. Stehende Wellen in diesem Bereich (bis ca. 100 Hz) werden als besonders dröhnend und störend empfunden. Der für die Wiedergabe dieser tiefsten Frequenzen zuständige aktive Subwoofer wird hierbei durch ein Array von 2x2 oder 4x4 Woofern ersetzt. Um eine aktive Absorbierung mittels DBA realisieren zu können, benötigt man also mindestens 4 Subwoofer gleicher Bauart.

Zunächst wird ein Single Bass Array (SBA) an der Vorderseite des Raumes errichtet. Dazu werden zwei Subwoofer an der Stirnseite des Raumes, nahe der vorderen Wand, platziert. Ziel hierbei ist es, eine großflächig ebene

Wellenfront zu schaffen, die den Hörraum von vorne nach hinten durchläuft. Um dies zu erreichen, ist die Verteilung der Subwoofer so zu wählen, dass ihr Abstand nicht größer als die halbe Wellenlänge der höchsten angestrebten Frequenz ist, für die die spätere aktive Absorbierung erreicht werden soll. Die Lage dieser oberen Grenzfrequenz hängt weitgehend von der Größe des Raumes ab. Je größer der Raum ist, desto niedriger kann die untere Grenzfrequenz angesetzt werden und umso weiter entfernt müssen auch die Subwoofer von einander entfernt sein.
Allein durch das SBA können nun also Raummoden, die sich zwischen

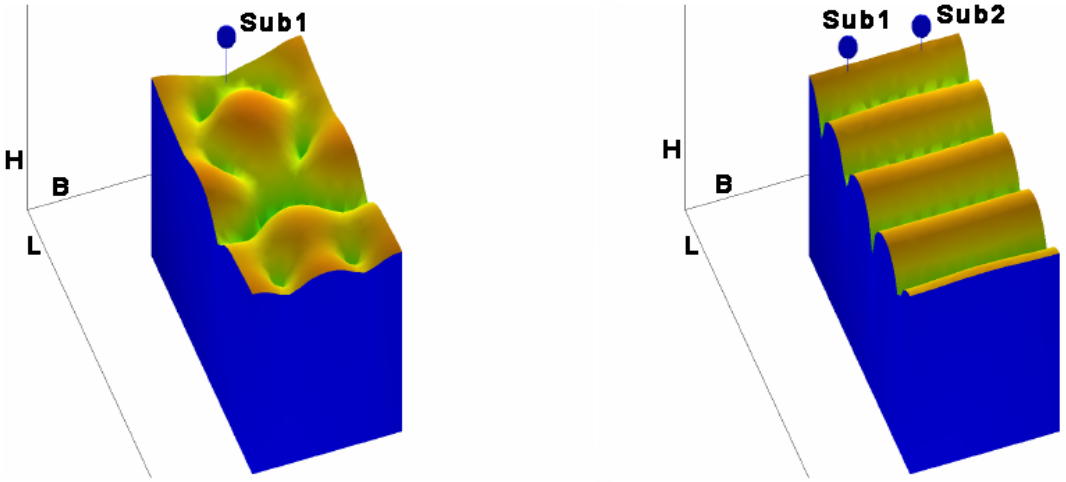


Abb. 22 **Schalldruckverteilung in einem Raum mit einem Subwoofer (links) und mit zwei Subwoofern (rechts). Gut zu erkennen ist die ungeordnete Ausbreitung der tieffrequenten Schallwellen bei nur einem Subwoofer, im Gegensatz zur SBA-Anordnung mit zwei Woofern: Hier ist klar die ebene Wellenfront zu erkennen, die den Raum von vorne nach hinten durchläuft.**

Boden und Decke bzw. zwischen den beiden Seitenwänden ausbilden, kompensiert werden, da sich der Schall nun als ebene Welle ausbreitet.[81]

Die Problematik der stehenden Wellen in Längsrichtung des Raumes bleibt jedoch nach wie vor erhalten. So kann es noch immer punktuell zu starken Überhöhungen und Auslöschungen im Bereich der Längsmoden kommen.
Diese stehenden Wellen können nun mithilfe eines DBA kompensiert werden. Auf der Rückseite des Hörraumes wird hierzu die zur Stirnseite identische Anordnung von Subwoofern installiert.

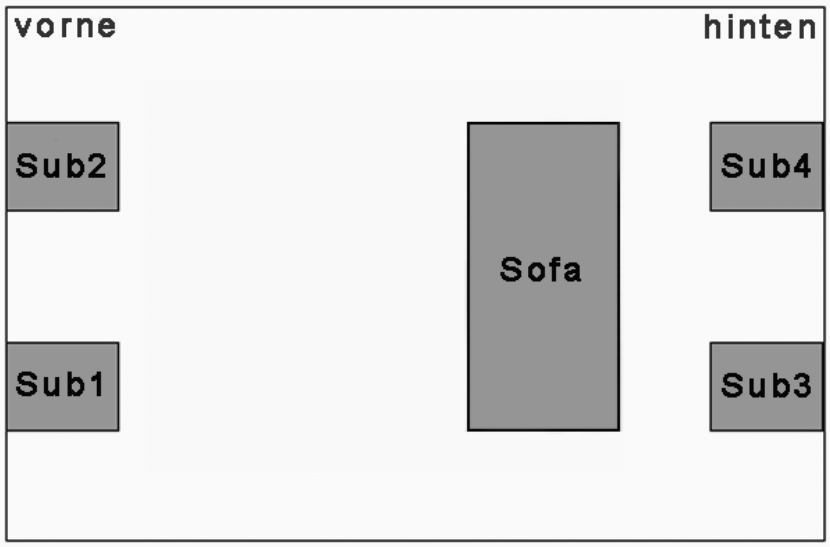


Abb. 23 **DBA mit je zwei Subwoofern an der Stirn- und Rückseite des Raumes**

Die hinteren Subwoofer werden nun mit dem identischen Signal der Frontsubwoofer angesteuert. Das Signal wird allerdings um die Zeit verzögert, die der Schall benötigt, um die Distanz der Raumlänge zurückzulegen d.h. 2,9 ms Verzögerung pro Längenmeter des Hörraumes (bei einer Schallgeschwindigkeit vom 343 m/s bei 20°C Raumtemperatur).
Zusätzlich muss das Signal der hinteren Subwoofer noch in der Phase gedreht werden, sodass diese invers zu den beiden vorderen Woofern betrieben werden.

Liegt nun ein tieffrequentes Signal an, durchläuft die von den vorderen Lautsprechern erzeugte Wellenfront den Raum in Richtung der hinteren Subwoofer. Genau dann, wenn diese Wellenfront auf die Rückwand trifft, geben die hinteren Subwoofer ihr Signal ab – weil diese um die Zeit verzögert sind, die die Wellenfront zum Durchlaufen des Raumes benötigt. Da das Signal aber hier phasengedreht zum Signal der ankommenden Schallwellen ist, findet eine vollständige akustische Auslöschung der eintreffenden Wellenfront statt. Dies erfolgt jedoch nur, wenn wie oben beschrieben, die Schallausbreitung durch das vordere SBA in einer ebenen Welle geschieht. Die hintere Wand des Heimkinoraumes scheint nun nahezu zu verschwinden und es ist an keinem Punkt im Raum eine Überhöhung bzw. Auslöschung der betrachteten tiefen Frequenzen durch eine rückwärtige Reflektion festzustellen. Durch die Verwendung von jeweils vier Subwoofern vorne und hinten, kann die aktive Absorbierung tiefer Frequenzen noch gesteigert werden, da die ebene Wellenfront hier sauberer ausgeprägt ist. Dabei werden die zusätzlichen vier Woofer über den bereits vorhandenen, auf ca. halber Raumhöhe abgebracht. Unabhängig von der Subwooferanzahl ist es für ein sehr gutes Ergebnis jedoch am wichtigsten, dass die Subwooferanordnung vorne und hinten absolut identisch angebracht wird und der Raum quaderförmig ist.[82]

7.2.2.2. Passive Optimierung von Raummoden

Eine günstigere, aber nicht unbedingt weniger aufwendige Methode zur Reduzierung stehender Wellen besteht unter anderem im Einsatz von speziellen Absorbern.

Hierbei geht es darum, dem Raum im tieffrequenten Bereich Schallenergie zu entziehen, um somit Überlagerungen der Raummoden durch Reflektion zu verhindern. Diese passive Methode funktioniert nicht so breitbandig wie ein DBA und erfordert eine genaue Abstimmung auf die Eigenresonanzfrequenzen des Hörraumes. Der Vorteil ist jedoch, dass diese Konstruktionen selbst berechnet und auch angefertigt werden können. Somit finden sie bei sehr vielen, meist bastelfreudigen, Heimkinobesitzern großen Anklang, sie werden rege in Foren diskutiert und auf verschiedenste Arten verbaut.

Eine relativ einfach zu berechnende und zu bauende Konstruktion ist der Plattenabsorber, oder auch Plattenschwinger. Er wird zu Absorbierung im Bass- und Grundtonbereich eingesetzt und wirkt nach dem Feder-Masse-Prinzip. Der Absorber besteht aus einem luftdichten Kasten, der auf seiner Vorderseite mit einer schwingfähigen Platte versehen ist. Diese Schwingfläche und die sie umgebende Luft stellen die Masse dar, während das angekoppelte geschlossene Luftvolumen im Kasten zusammen mit der Schwingfähigkeit der Frontplatte die Feder des Systems bildet. Für die Abstimmung des Plattenabsorbers müssen zunächst durch Messung oder Berechnung (vgl. Formel Kapitel 7.2.1.) die Eigenresonanzfrequenzen des Hörraumes ermittelt werden. Danach ist der Plattenschwinger mit dieser vereinfachten Formel zu berechnen:[83]

$$dl = \frac{(600/f)^2}{m}$$

dl = Abstand der Membranfläche zur Wand
m = flächenbezogene Masse der Membranfläche in kg/m²
f = Resonanzfrequenz in Hz

Als Baumaterial für Rück- und Seitenwände eignet sich MDF besonders gut, da es sich nicht wie Holz verziehen kann und leicht zu verarbeiten ist. Die Kanten sollten nach dem Verleimen auf der Innenseite mit Silikon abgedichtet werden, da der Kasten absolut luftdicht sein muss. Anschließend wird die vordere schwingende Platte passgenau auf den Kasten verleimt. Bei ihr muss neben der flächenbezogenen Masse, also kg/m² auch darauf geachtet werden, dass sie nicht zu dick wird und nicht mehr richtig schwingen kann. Eine Stärke von ca. 5mm gilt hier als Obergrenze. Es können entweder Sperrholz-, Kunststoff- oder auch dünne Metallplatten verbaut werden, aber auch schwere Folien werden oftmals verwendet, da sie trotz großer flächenbezogener Masse noch leicht zum Schwingen angeregt werden können und eine gute innere Dämpfung besitzen. Zu beachten ist, dass sich bei zunehmendem Gewicht der Frontplatte bzw. Folie die Resonanzfrequenz des Absorbers nach unten verschiebt. Genauso wird die Resonanzfrequenz des Absorbers durch zunehmenden Wandabstand tieffrequenter. Um die Konstruktion breitbandiger auszulegen, kann im Inneren an der Rückwand Steinwolle angebracht werden, dabei muss jedoch genügend Abstand zur Frontplatte gegeben sein, um diese nicht am Schwingen zu hindern. Wird die Sperrholzplatte durch eine Folie mit gleichem Flächengewicht ersetzt, kann ebenfalls die Güte des Absorbers verringert werden. Der Wirkungsbereich vergrößert sich also bei gleichzeitiger Verringerung des Wirkungsgrades. Treten an der relativ großen ebenen Fläche des Plattenschwingers Probleme durch Reflektionen im Mitten- und Hochtonbereich auf, kann eine Auflage von porösem Dämpfungsmaterial dieses Problem minimieren. Die Funktion des Plattenschwingers wird dadurch nicht beeinträchtigt, solange

die Frontplatte nicht am Schwingen gehindert wird. Um im Heimkinoraum effizient wirken zu können, sollte der Absorber die Ausmaße von 0,5 m² nicht unterschreiten. Sonst steht zu wenig Fläche zur Schallaufnahme zur Verfügung und auch die Front kann weniger gut schwingen. Ebenfalls sollte die kürzeste Seitenlänge mindestens einen halben Meter lang sein.[84]

Trifft nun eine Schallwelle auf den Plattenabsorber, bringt sie die vordere Platte bzw. Folie zum Schwingen. Am meisten wird die Front dabei bei der Resonanzfrequenz der Konstruktion angeregt. Durch die innere Dämpfung des Holzes oder der Folie und durch die Dämpfung der bewegten Luft im Fasermaterial im Inneren des Absorbers wird der auftreffenden Schwingung Energie entzogen.[85]

Die Absorber sind zwar relativ großflächig und haben bei einer entsprechend niedrigen Abstimmung eine beachtliche Tiefe, die Platzierung im Heimkino allerdings ist aus folgendem Grund nicht sonderlich problematisch. Prinzipbedingt muss ein Plattenabsorber immer direkt an einer Wand verbaut sein. So kann ein Absorber hinter einer großflächigen Rahmen- oder Ausziehleinwand angebracht werden. Er ist somit nicht sichtbar und wird bei tieffrequenter Abstimmung nicht durch die Leinwand in seiner Wirkung beeinträchtigt. Oft werden solche Absorber aber auch bewusst als optische Kontrastflächen an den Seiten- und Rückwänden angebracht. Mit Stoff bezogen, kann dem Kino eine besondere Optik gegeben werden. Durch den nötigen Abstand der Hörzone zur hinteren Wand, sollte speziell hier auch immer genug Platz selbst für einen tiefen Plattenabsorber vorhanden sein.

7.2.3. Nachhallzeit im Heimkino

Ein sehr wichtiger Indikator für eine angenehme Raumakustik und ein ausgewogenes Klangbild ist die (RT-60) Nachhallzeit, also ein Maß für die Halligkeit eines Raumes. Es wird hierbei die Zeit in Sekunden gemessen, die vergeht, bis der Schalldruckpegel in einem Raum nach Abschalten der Schallquelle um 60 dB abgefallen ist. Welche Nachhallzeit die richtige ist, kann nicht pauschal beantwortet werden, da sie vom Anwendungszweck des Raumes sowie der persönlichen Empfindung des Hörers abhängig ist.[86]
Die Nachhallzeit wird von einigen Faktoren beeinflusst und lässt sich durch geeignete Maßnahmen individuell für jedes Heimkino optimieren. Sie steigt mit zunehmender Raumgröße an: Bei gleicher Beschaffenheit der Begrenzungsflächen hat also ein größerer Raum längere Nachhallzeiten als ein kleiner, da das Volumen stärker zunimmt, als die gesamte Oberfläche. Auch die Absorptionseigenschaften von Wänden, Boden und Decke sowie die Einrichtung des Raumes spielen eine wichtige Rolle. Da verschiedene Begrenzungsmaterialien wie z.B. Stein, Holz, Teppich und andere Textilien den Schall bei unterschiedlichen Frequenzen verschieden stark absorbieren, ist somit auch die Nachhallzeit frequenzabhängig. Bei Nichtbeachten dieser Gegebenheit, kann es im Heimkino dann auch schnell zu Verfärbungen im Klangbild kommen, da das Diffusfeld durch meist unterschiedliche Begrenzungsmaterialien verändert wird.[87]
Im Gegensatz zu einem reinen Stereoabhörraum wird im Heimkino eine eher kürzere Nachhallzeit angestrebt und liegt frequenzabhängig zwischen ca. 600 ms im Bassbereich und 150 ms im Hochtonbereich. Die Nachhallzeiten eines Raumes können sowohl aufwendig berechnet als auch gemessen werden. Mit bestimmten Rechenapplikationen ist es auch möglich, die

optimale Nachhallzeit für einen Heimkinoraum bestimmter Größe zu ermitteln sowie die frequenzspezifische Nachhallzeit des speziellen Raumes anzeigen zu lassen. Hierbei kann sowohl die Einrichtung als auch die Bausubstanz berücksichtigt werden.[88]

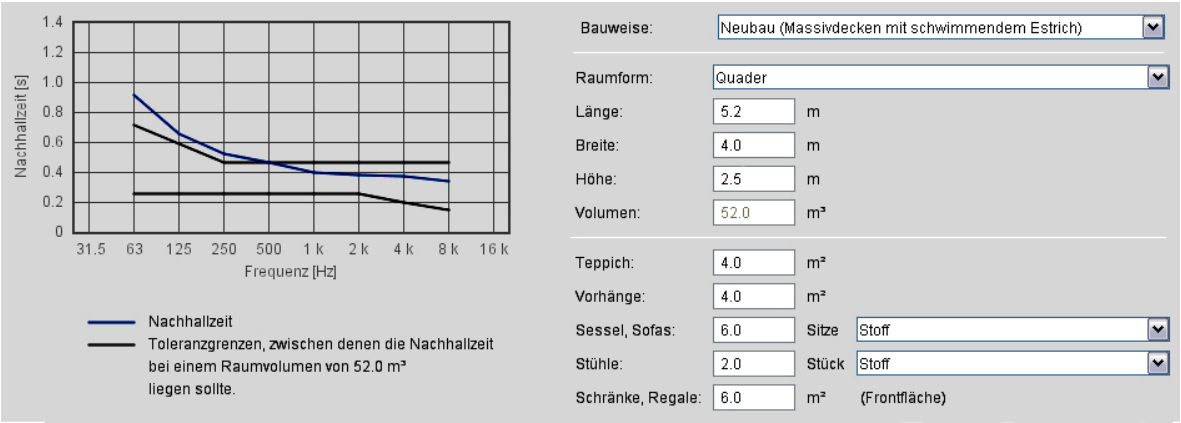


Abb. 24 **Berechnungstool zur Empfehlung und Anzeige der Nachhallzeit nach der DIN 18041-Anforderung „Hörsamkeit in kleinen bis mittelgroßen Räumen“, mit etwas erhöhtem Toleranzbereich**

Abbildung 24 zeigt ein Rechenbeispiel für einen durchschnittlichen Heimkinoraum. Hier beträgt die optimale Nachhallzeit im für die Verständlichkeit wichtigen Mittenbereich ca. 300 bis 400 ms, während im Bassbereich bis 60 Hz noch einmal 0,3 Sekunden mehr möglich sind. Oberhalb von 2 kHz sollte die Nachhallzeit bis 8 kHz leicht abfallen, auf unter 200 ms. [89]

Da der Raumeindruck eines Mehrkanalsystems bei gutem Quellmaterial durch die Surroundkanäle zustande kommt, kann der hintere Raumteil grundsätzlich stärker bedämpft sein, um zu starke Klangverfärbungen der Rearspeaker zu vermeiden.

Speziell bei Filmen wird jedoch oft ein eher diffuses Klangbild der hinteren Kanäle angestrebt, daher werden hier die umgebenden Wände häufig weniger bedämpft. Klangliche Verfärbungen werden bewusst in Kauf genommen, um eine umhüllende Surroundkulisse zu erreichen. Dabei sind Reflektionen an der Rückwand Teil des Konzeptes und werden oft durch Dipollautsprecher gesteigert[90] (vgl. Kapitel 6.1.2.).

7.2.3.1. Optimierung der Nachhallzeit

Durch eine typische Heimkinoeinrichtung kommt es im Mitten- und Hochtonbereich meist schon zu brauchbaren Nachhallzeitwerten. So sind oft zum Teil schwere Vorhänge aufgehängt, oder einige Wände mit Stoff bezogen. Dies führt zu einer erhöhten Absorption dieser Frequenzen. Auch im Tiefmitten- und Bassbereich kann durch gezielte Einrichtung die Nachhallzeit optimiert werden.[91] So werden häufig mehrere Sessel oder ein großflächiges Sofa aufgestellt, die dem Raum breitbandig einiges an akustischer Energie im tieffrequenten Bereich entziehen. Außerdem ist es von Vorteil, wenn sich kein großflächiger Tisch bzw. blanker Fußboden zwischen Frontlautsprechern und Hörzone befindet. Sonst kommt es hier zu ungewollten ersten Reflektionen, die sich mit dem Direktschall überlagern und das Klangbild verfälschen. In Hinblick darauf sollte auch beachtet werden, dass die ersten Reflektionen von Seitenwänden und Decke zum Hörplatz bedämpft werden. Hier kann leicht die richtige Stelle für zum Beispiel einen porösen Absorber gefunden werden, indem ein Spiegel solange an der Seitenwand bzw. der Decke verschoben wird, bis der entsprechende Lautsprecher vom Hörplatz aus zu sehen ist. An dieser Stelle kann ein entsprechender Absorber platziert werden. Dies gilt für alle drei

Frontkanäle gleichermaßen. Da der hintere Bereich des Raumes für die Filmwiedergabe meist weniger in den Mitten und Höhen bedämpft wird, reichen hier wenige Absorber aus, um gute Ergebnisse zu erzielen.

Häufig ist in Heimkinos eine zu starke Bedämpfung im Hochtonbereich anzutreffen, hier werden oft große Mengen an porösem Absorbermaterial angebracht. Diese meist recht dünnen Schaumstoffplatten entziehen dem Raum nur im hochfrequenten Bereich Energie und führen zu einem unausgeglichenen Klangbild. Die Nachhallzeit sollte also immer möglichst linear sein und auch dementsprechend gezielt bedämpft werden.[92]

Ist eine Bedämpfung in den Mitten bzw. Höhen nötig, hat man verschiedene Möglichkeiten. Für Frequenzen bis 500 Hz kann ein sauber abgestimmter Plattenabsorber (vgl. Kapitel 7.2.2.2.) wirksam helfen, die Nachhallzeit zu minimieren. Diese Art der Absorption ist relativ schmalbandig, kann jedoch durch Kombination verschieden abgestimmter Elemente in ihrer Güte vergrößert werden. Für höhere Frequenzen wird meist offenporiges Material wie Faserstoffe oder poröse Schäume verwendet. Hier bewegen sich die schwingenden Luftmoleküle in dem offenporigen Material und es entsteht Reibung. Dem Raum wird so Schallenergie entzogen und in Wärme umgewandelt. Diese Absorber sind relativ breitbandig und speziell in hohen Frequenzen sehr wirksam[93], was eine maßvolle und überlegte Nutzung voraussetzt. Ist die richtige Position für den Absorber gefunden, spielt der Wandabstand eine wichtige Rolle. Da die Absorption eines porösen Absorbers mit zunehmender Schallschnelle ansteigt, ist die Montage direkt auf einer Wand nicht optimal. Die Wirkung ist bei einem Schnellemaximum der Schallwelle am effektivsten. Dieses Maximum hat eine reflektierte Welle bei einem Wandabstand von ¼ ihrer

Wellenlänge.[94] Daraus ergibt sich folgende Berechnung der unteren Grenzfrequenz eines offenporigen Absorbers.[95]

$$f_u = \frac{8500}{d}$$

f_u = untere Grenzfrequenz in Hz
d = Abstand Wand – Absorbermaterial in cm

Ab dieser Frequenz ist der Absorber bei entsprechender Stärke bzw. Wandabstand wirksam.
Ein Höhenabsorber kann also durch Vergrößerung des Wandabstandes oder seiner Stärke auch bis in den Mittenbereich wirksam gemacht und dem Raum entsprechend angepasst werden.

7.3. Sitzposition und Lautsprecherplatzierung

Raumgestaltung und die richtige Einrichtung sind weitere wichtige Schritte auf dem Weg zur akustischen Abstimmung des Heimkinos und zur bestmöglichen räumlichen Wiedergabe. Allgemeingültige Aussagen zu diesem Thema zu machen, ist jedoch nahezu unmöglich. Wie bei der Raumakustik, die direkt mit der Sitzposition und der Anordnung der Lautsprecher verknüpft ist, muss auch hier jeder Raum differenziert betrachtet werden. So gibt es zwar kein Patentrezept, wohl aber einige Regeln, durch die für den jeweiligen Hörraum und das Audiosystem eine optimale Lösung im Heimkino erzielt werden kann.

Zunächst gilt es, die vorgegebenen Winkel zur Lautsprecherplatzierung wenn möglich genau einzuhalten, um die natürlichste Surroundwiedergabe zu erreichen. Die genauen Angaben von Dolby für die Satellitenlautsprecher eines 7.1 Systems sind: 0° für den Centerlautsprecher, 30° für den rechten Frontkanal, 90° für den rechten Surroundkanal und 150° für den rechten Surroundback-Kanal.[96] Die Anordnung der Lautsprecher auf der gegenüberliegenden Seite erfolgt dann spiegelbildlich. Damit ist schon ein weiterer Punkt berücksichtigt: Der symmetrische Aufbau des Lautsprechersystems im Hinblick auf die mittlere Sitzposition. Wie in der Grafik zu erkennen ist, kann die Aufstellung bis zu einem gewissen Grad variiert werden, um den Wohnraumverhältnissen entgegenzukommen. Wenn diese ersten Punkte nicht beachtet werden, ist ein Höreindruck, wie er bei der Mischung des Audiomaterials angestrebt wurde, kaum möglich. Auch der Abstand der Lautsprecher zum Hörplatz sollte möglichst gleich sein. Unterschiede in der Entfernung können jedoch

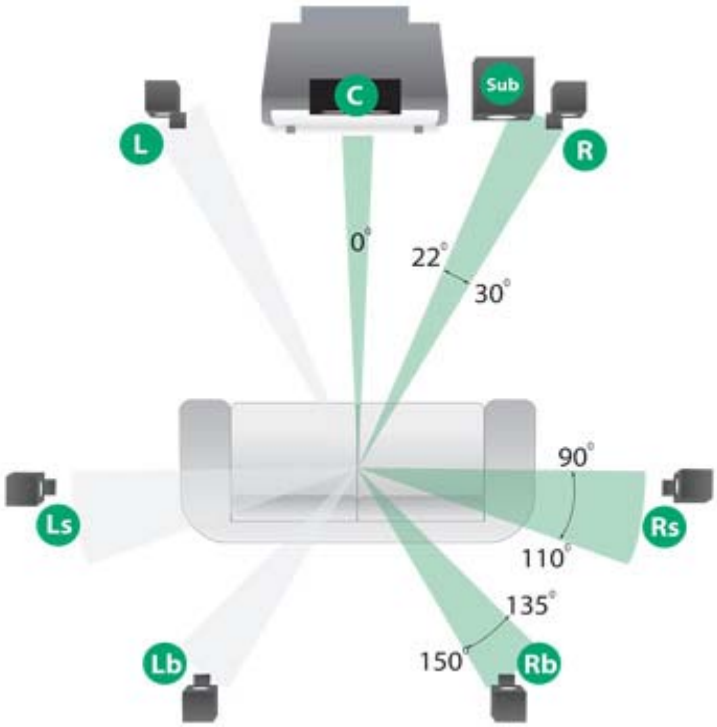


Abb. 25 **Lautsprecheranordnung nach Dolby-Norm**

durch die entsprechende Delayfunktion moderner Heimkinoreceiver ausgeglichen werden (vgl. Kapitel 5.4.).

Bei der Aufstellung eines Lautsprechers im Heimkino ist weiterhin Grundsätzliches zu beachten. Ein Standlautsprecher muss zu allen Wänden einen Mindestabstand von einem Meter einhalten. Dies ist wichtig, um eine unsaubere und angedickte Wiedergabe im Bassbereich zu verhindern. Eine Platzierung in einer Raumecke sollte auf jeden Fall vermieden werden. Ist eine wandnahe Aufstellung unumgänglich, kann das Verschließen der Bassreflexöffnung(en) mit Polyesterwatte eine Verbesserung im Bassbereich bringen.[97] Luftgeräusche durch die Reflexöffnung können so verhindert werden und gleichzeitig, die überhöhte Basswiedergabe durch die Wandnähe zum Teil ausgeglichen werden. Bei Regallautsprechern ist die Aufstellung etwas unkritischer, sie können näher an einer Wand platziert werden, ohne dass gleich mit einem dröhnenden Bass gerechnet werden muss. Hier kann es bei entsprechend kleinen Boxen sogar gute Ergebnisse bringen, wenn eine wandnahe Aufstellung die Basswiedergabe unterstützt. Die Präzision der tieffrequenten Wiedergabe wird so allerdings nicht gefördert.[98]

Die Ausrichtung des Schallwandlers auf die Hörposition kommt auf das einzelne Fabrikat an. Es können zum Teil stimmigere Ergebnisse erzielt werden, wenn ein linear bis höhenreicher Speaker nicht genau auf den mittleren Hörplatz ausgerichtet ist. Dies wird oft bei einem entsprechend abgestimmten Lautsprecher als angenehmer empfunden und vergrößert gleichzeitig die optimale Hörzone.[99] Unumstritten ist jedoch, dass sich zumindest die Frontlautsprecher mit ihrem Hochtöner, bzw. der Mittelachse zwischen Hoch- und Mitteltöner auf Ohrhöhe der Sitzpositionen befinden.

Da die meisten Lautsprecher auf einen linearen Frequenzgang in Richtung ihrer Mittelachse optimiert sind, lassen sich somit die besten Ergebnisse erreichen.[100]

Um die Wiedergabe noch zu optimieren, können Spikes verwendet werden. So wird der Standlautsprecher von seinem Untergrund akustisch entkoppelt, der Raum wird weniger angeregt und somit die Wiedergabe im unteren Frequenzband präziser. Kompaktlautsprecher hingegen sollten immer auf einem hochwertigen Standfuß, am besten mit Sand oder Bleikugeln befüllt, betrieben werden. So wird die Mittelachse in Ohrhöhe des Zuhörers gebracht. Des Weiteren ist ein fester Stand für eine saubere Wiedergabe unerlässlich, dies gilt natürlich genauso für Standlautsprecher.

Bei der Platzwahl für die hinteren Surroundlautsprecher wird meist etwas mehr von der optimalen Aufstellung abgewichen. Immerhin gilt es in einem 7.1 System vier Rearlautsprecher hinter bzw. neben der Hörzone zu arrangieren. Ist genügend Platz im eigenen Kino vorhanden, empfiehlt es sich, für die hinteren Kanäle die gleichen (Stand-) Lautsprecher, wie vorne zu verwenden. So wird eine einheitliche Soundkulisse geschaffen und das homogene Klangbild bleibt rundum erhalten. Speziell für die Wiedergabe von hochauflösenden Mehrkanalmusikformaten wie SACD oder DVD-Audio ist der Einsatz von genau identischen Lautsprechern für jeden Kanal sehr bedeutend. Soll dann aber noch der Mindestabstand der hinteren Boxen zur Wand eingehalten werden, ist oft die Raumgröße nicht mehr ausreichend. So werden in den meisten Fällen für die Rearkanäle Kompaktlautsprecher verwendet. Diese sind leichter unterzubringen und müssen durch eine Subwooferunterstützung auch kein Nachteil sein. Da sich die hinteren Boxen meist sehr nahe an der Hörzone befinden, ist es hier

schwierig, eine stimmige Surroundkulisse zu erleben. Es ist daher praktikabel, die Position der vier hinteren Lautsprecher vertikal nach oben zu verschieben. Oft wird auch in Bedienungsanleitungen eine solche Platzierung explizit vorgeschlagen. Die Boxen werden dann ca. einen knappen Meter über Kopfhöhe der Sitzposition montiert. So werden die Lautsprecher weniger ortbar, die Raumreflektionen deutlicher wahrgenommen und das gewünschte, diffusere Klangbild für die Filmwiedergabe der Rearkanäle ist die Folge.[101] Um dieses Ziel zu erreichen werden dann auch Dipollautsprecher für die hinteren Kanäle verwendet.[102] So lässt sich der Abstand zur Hörzone verkleinern, ohne dass gleich jede Box einzeln, diskret geortet wird.

Der Platzierung des aktiven Subwoofers sollte besondere Aufmerksamkeit zuteil werden. Da bei typischen Subwoofer-Übernahmefrequenzen zwischen 70 und 100 Hz kaum mehr ein menschliches Richtungshören möglich ist, scheint die Wahl des Platzes für den Subwoofer zunächst recht einfach. Jedoch kann durch eine überlegte Aufstellung, das Problem der Raumoden im Tiefbassbereich erheblich verbessert werden und trotz starker Raumanregung durch den Subwoofer eine ausgewogene Basswiedergabe möglich sein. Es gilt eine Position zu finden, an der sich der Woofer harmonisch in das akustische System integriert und gleichzeitig einen möglichst sauberen Bass reproduziert.

Ein Ansatz geht von einem quaderförmigen Raum aus und zielt darauf ab, die stehenden Wellen in der Breite des Raumes dadurch zu minimieren, dass der Subwoofer bei einer horizontalen Drittelung der vorderen Raumwand auf einer der zwei Schnittstellen platziert wird. Dabei ist auch hier darauf zu achten, dass der Woofer nicht zu nahe an der Wand steht.[103] Zusätzlich

kann ein Podest oder Boxenständer verwendet werden, so kann der Woofer erhöht im Raum platziert werden, um die Moden zwischen Decke und Boden zu verringern.[104]

Diese Maßnahmen können jedoch nur eine Richtlinie darstellen und müssen in jedem Raum neu überprüft werden. Um die optimale Position für den Subwoofer im eigenen Heimkino zu ermitteln, bleibt das Experimentieren mit verschiedenen Positionen also weiterhin unverzichtbar.

Ein zweiter Ansatz macht sich den Umstand zunutze, dass sich die tieffrequenten Schallwellen im Hörraum spiegelbildlich zwischen Hörplatz und Aufstellungsort des Subwoofers verhalten. Der Woofer wird hierzu zunächst auf Kopfhöhe der mittleren Sitzposition angebracht. Dann wird ein Audiosignal zwischen 50 und 80 Hz wiedergegeben, dass sowohl aus impulsartigen, wie auch länger ausklingenden Tönen besteht. Während das Signal läuft, werden im Hörraum verschiedene Positionen abgehört, an denen der Subwoofer platziert werden kann. Dabei sollte auch der Grundgedanke des ersten Ansatzes miteinbezogen werden. Nun muss darauf geachtet werden, an welcher Stelle im Raum ein sauberer, ausgeglichener Bass wahrgenommen wird. Ist eine Position gefunden, die sowohl vom Höreindruck als auch von der künftigen Aufstellung unproblematisch ist, kann der Woofer dort platziert werden. Dies ist eine Möglichkeit, die für jeden Hörraum praktikabel ist und mit relativ geringem Aufwand gute Ergebnisse erzielt.[105]

Bei der Wahl der Sitzposition gibt es ebenfalls Grundsätze zu beachten, mit denen ein ausgeglichener Höreindruck wahrscheinlich ist. So kann das von der zweikanaligen Wiedergabe bekannte Prinzip des Stereodreiecks als Basis der mittleren Sitzposition eines Surroundsetups dienen. Hier bildet die

Sitzposition mit den Front-Links-Rechts-Kanälen ein gleichseitiges Dreieck. Diese Ausrichtung sollte natürlich besonders dann berücksichtigt werden, wenn im Heimkino neben Mehrkanalsignalen auch Musik in Stereo wiedergegeben werden soll.

Lassen die Raumverhältnisse einen größeren Abstand zu den hinteren Speakern zu, sollte dieser unter Berücksichtigung des gebotenen Wandabstandes entsprechend genutzt werden. Zum einen sitzt der Hörer so nicht direkt unter bzw. vor den hinteren Surroundlautsprechern, zum anderen kann sich der Schall besser von den Boxen lösen und die Möglichkeit für eine ausgewogene Surroundkulisse wird größer. Im Bassbereich ergibt sich durch eine nicht zu wandnahe Hörzone noch ein weiterer Vorteil: Da sich direkt an einer Raumwand immer ein Druckmaximum des Schalls befindet, ist hier nahezu in jedem Fall eine Überhöhung tiefer Frequenzen wahrzunehmen. Dieser dröhnende Bass kann mit dem Sicherheitsabstand zur Wand reduziert werden. Im Hinblick auf die Eigenresonanzfrequenzen des Raumes sollte außerdem darauf geachtet werden, dass auf Höhe der Sitzposition weder eine Auslöschung noch eine Überhöhung der Raummoden stattfindet.[106]

Ist eine recht große Hörzone für mehrere Zuhörer geplant, darf der Abstand zu den Lautsprechern nicht zu klein ausfallen. Befindet sich der Rezipient nicht direkt an der mittleren Hörposition, sondern sitzt nahe einer Seitenwand, wird die vordere Surroundkulisse bei abnehmender Abhörentfernung so entsprechend kleiner und weniger ausgeprägt. Speziell bei großen Standlautsprechern ist auf eine entsprechende Abhör-entfernung zu achten. Gegenüber Kompaktlautsprechern haben große Schallwandler bei kurzen Abständen Nachteile, wenn es um die präzise

räumliche Abbildung geht. Dazu kommen verstärkte Frequenzschwankungen durch Interferenzeffekte bei einer zu nahen Hörzone.[107] Der zur Verfügung stehende Raum und die optimale Abhörposition sollten also auch bei der Wahl des richtigen Audiosystems genau berücksichtigt werden.

Die Komponente Raum darf somit keinesfalls bei der Verwirklichung des eigenen Kinos unterschätzt werden. Schon bei der Planung sollte klar sein, was für ein Anspruch an den Ton gestellt wird und wie groß die Bereitschaft für ein umfangreiches akustisches Raumtuning ist. Der dabei nicht zu unterschätzende WAF sollte vom motivierten Heimkinointusiast hierbei unbedingt mit einkalkuliert werden. Es zeigt sich jedoch, dass neben einem kompromisslosen, reinen Heimkinoraum, auch zufriedenstellende Ergebnisse mit einer behutsamen Wohnraumintegration des Systems erzielt werden können. Egal welche Entscheidung hier getroffen wird: Raumgestaltung und Optimierung, die Wahl des passenden Audiosystems sowie die optimale Anordnung der Hörzone und der Lautsprecher sollten mit Bedacht geschehen. Denn nur wenn diese Komponenten perfekt aufeinander abgestimmt sind, bestehen gute Aussichten für einen ausgewogenen und räumlichen Mehrkanalton im Heimkino.

8. Fazit

Dank der stetigen technischen Weiterentwicklung auf dem Heimkinosektor halten immer wieder Technologien Einzug, welche noch vor einigen Jahren undenkbar für den bezahlbaren Heimbereich schienen. In diesem Zusammenhang muss jedoch auch klar sein, dass diese Arbeit nur einen Einblick in den gegenwärtigen Stand der Technik dieser sich rasant weiterentwickelnden Branche geben kann und die aktuelle Situation dokumentiert wird.

Der zunehmende Techniktransfer lässt inzwischen im hier betrachteten mittleren Preissegment eine Qualität zu, die durchaus mit einem Audiosystem eines kleineren Kinos verglichen werden, bzw. dieses übertreffen kann. Während jedoch schon allein die schiere Größe eines imposanten Kinopalastes einen Besuch zum Erlebnis macht, hält das Heinkino mit einer individuell angepassten Abstimmung und der persönlichen Note dagegen. Die Kosten auf Lange Sicht gegeneinander abzuwägen, wäre nicht der richtige Ansatz. Hier würde das Heimkino deutlich den Kürzeren ziehen.[108] Jedoch muss klar sein, dass kein Heimkinobesitzer diesen Schritt aus finanziellen Beweggründen vornimmt. Es gehört eine gewisse Passion zu diesem Hobby und der Ehrgeiz, aus den vorhandenen Mitteln das Optimum herauszuholen. Die Abstimmung der heimischen Mehrkanalanlage ist somit oft ein Prozess, der sich lange hinziehen kann, doch genau das macht auch den Reiz eines solchen Systems aus.

Die in den letzten Jahren eher rückläufigen Zahlen an den Kinokassen[109] werden von den Kinobetreibern ernst genommen und es wird versucht,

durch neue Technologien (vermehrt Filme in 3D-Technik) wieder mehr Besucher ins reguläre Kino zu locken. So findet auch eine gewisse Förderung der gegenseitigen Entwicklung statt.
Bei genauer Betrachtung stellt das heimische Kino jedoch letztlich keine ernsthafte Konkurrenz für ein gutes kommerzielles Kino dar und ein Vergleich ist aufgrund der sehr unterschiedlichen Zielgruppen kaum möglich. Hinzu kommt, dass selbst viele Heimkinobesitzer noch ab und an den Weg in ein hochwertiges Kino finden – denn die Qualität der heimischen Anlage will schließlich auch verifiziert und eingestuft werden. Hier ist ein Vergleich zu einem großen professionellen System und die damit verbundene Inspiration äußerst willkommen.

Während die weit verbreiteten günstigen Mehrkanal-Kompaktanlagen großen Absatz finden, bleibt ein hochwertiges Heimkino momentan trotz ebenfalls steigender Beliebtheit eine besondere Angelegenheit für dementsprechend perfektionistische Klang-Enthusiasten. Ein entsprechendes technisches Verständnis und eine gewisse Vorbildung in diesem Bereich sind hier von großer Bedeutung. Oft ist dann der Weg das Ziel und auch der Antrieb, das Soundsystem immer besser und akribischer abzustimmen. Die ständige technische Weiterentwicklung hält dafür stets neue Möglichkeiten und Maßnahmen bereit, welche meist schnell den Weg in die Heimkinos finden.
So stehen schon die nächsten Entwicklungen an, die ein noch authentischeres Klangerlebnis ermöglichen sollen. Neben firmenspezifischen Erweiterungen wie zusätzliche Elevations-Lautsprecher und immer raffinierter werdenden Raumeinmessverfahren hält auch die Wellenfeldsynthese[110] mit

dem Iosono-System[111] langsam Einzug in den Heimbereich. Dementsprechende Lautsprecherkonstruktionen werden schon für den Konsumerbereich entwickelt[112].

Es bleibt abzuwarten, wie sich der Heimkinomarkt weiterentwickeln wird und ob der aktuelle Aufwärtstrend bestehen bleibt. Die ständig verbesserte Qualität der Elektronik-Komponenten bei gleichzeitig recht stabil bleibenden Preisen, wird das Heimkino jedoch auch in Zukunft sicherlich für eine immer breitere Masse zugänglich und interessant machen. Wobei hier stets zu beachten ist: Ein hochwertiges Heimkino-Audiosystem kann nicht mit günstigen Komponenten oder einer standardisierten Aufstellung bzw. Abstimmung einrichten werden.

Wie in dieser Arbeit beschrieben, hängt die Qualität nicht allein von der Audioanlage ab. Das Klangerlebnis wird vielmehr von zahlreichen unterschiedlichen Faktoren bestimmt, die es zu berücksichtigen gilt. Inwiefern jeder Heimkinobetreiber auf die verschiedenen angesprochenen technischen Möglichkeiten gegenwärtiger Audiosysteme eingeht, bleibt jedoch dem individuellen Anspruch an einen guten Ton überlassen.

9. Abbildungsverzeichnis

Abb. 01: Eigenes Heimkino

Abb. 02: Dolby Digital Plus-Logo
http://wiki.digital-digest.com/images/thumb/6/67/Dolby_Digital_Plus_Logo.png/180px- Dolby_Digital_Plus_Logo.png [Stand: 18.01.2009]

Abb. 03: DTS HD High Resolution-Logo
http://wiki.digital-digest.com/images/thumb/2/28/DTS-HD_High_Resolution_Audio_Logo.png/180px-DTS-HD_High_Resolution_Audio_Logo.png [Stand: 18.01.2009]

Abb. 04: Dolby Digital TrueHD-Logo
http://www.hifi-regler.de/hdmi/hdmi.php#hdmi_hdmi13a

Abb. 05: DTS HD Master-Logo
http://www.cepro.com/images/uploads/DTSHD.jpg

Abb. 06: Denon DVD 3800BD-Player
http://www.denon.de/site/popup/index.php?Pid=362&action=start&ver=&p=ansicht&jump=#

Abb. 07: HDMI-Stecker
http://www.easylinux.de/Artikel/ausgabe/2007/04/066-hdtv/hdmi.jpg

Abb. 08: HDMI-Stecker Belegung
http://www.hifi-regler.de/pictures/special/hdmi_kabelquerschnitt_800.gif

Abb. 09: Receiver-Aufbau (Onkyo Innenaufbau)
http://area-dvd.de/hardware/2007/onkyo_tx_nr905.shtml

Abb. 10: Rückseite Denon AVR 3808
http://www.denon.de/site/popup/index.php?Pid=385&action=start&ver=&p=ansicht&jump=#

Abb. 11: Audyssey Filterkurve (Denon AV-1)
http://area-dvd.de/hardware/2008/denon_avc_a1hd.shtml

Abb. 12: Dolby II X Matrix
http://www.areadvd.de/hardware/surroundaufpolierer.shtml

Abb. 13: Nubert Center
http://nubert.de/zoom/sz_nlcs72.htm

Abb. 14: Teufel Center
http://www.teufel.de/showimage.cfm?id=/images/heimkino/s9_description_pic1_big.jpg

Abb. 15: Nubert Dipol
http://nubert.de/zoom/sz_nbds301.htm

Abb. 16: Nubert Standlautsprecher
http://nubert.de/zoom/sz_nl102_holz.htm

Abb. 17: Nubert Kompaktlautsprecher
http://nubert.de/zoom/sz_nb381.htm

Abb. 18: Nubert Subwoofer
http://nubert.de/zoom/sz_nbaw991.htm

Abb. 19: Yamaha Y SP 1400-Lautsprechersystem
http://www.big-screen.de/deutsch/image/produktbilder/hifi_sound/elektronik/yamaha/yamaha_2007/ysp_1400b_600.jpg

Abb. 20: Yamaha Reflektionsprinzip
http://3.bp.blogspot.com/_djYeu-MX1YM/RgRVCsveT8I/AAAAAAAABm4/ycSgVgKd62s/s400/Yamaha.jpg

Abb. 21: Raummodenberechnung
http://www.hunecke.de/de/rechner/raumeigenmoden.html

Abb. 22: Schalldruckverteilung mit einem/zwei Subwoofern
http://www.monkeyforest.de/Page10383/Aktuell_dt/DAGA2003-Paper.PDF

Abb. 23: DBA-Anordnung
http://nubert.de/downloads/dba.pdf

Abb. 24: Nachhallzeitberechnung
http://www.hunecke.de/de/rechner/lautsprecher.html

Abb. 25: Lautsprecheranordnung nach Dolby-Norm
http://www.axiomaudio.com/global/images/diagrams/dolby_digital_EX.jpg

10. Quellenverzeichnis

10.1. Endnoten

[1] Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Blu-ray_Disc [Stand: 18.01.2009]
[2] Vgl. http://area-dvd.de/hardware/2008/hd_questions.shtml [Stand: 16.01.2009]
[3] Vgl. http://www.dolby.de/consumer/technology/dolby_digital_plus.html [Stand: 16.01.2009]
[4] Vgl. http://www.dts.com/~/media/B962F033C9254AD4B62ECFC6293C9E86.ashx [Stand: 17.01.2009]
[5] Vgl. http://www.dolby.de/consumer/technology/trueHD.html [Stand: 16.01.2009]
[6] Vgl. http://www.dts.com/~/media/B962F033C9254AD4B62ECFC6293C9E86.ashx [Stand: 17.01.2009]
[7] Vgl. http://www.nationmaster.com/encyclopedia/DTS-Coherent-Acoustics [Stand: 12.01.2009]
[8] Vgl. http://www.areadvd.de/hardware/2006/Blu-ray_Disc_HD-DVD_Special_2006_01.shtml [Stand: 12.01.2009]
[9] Vgl. http://area-dvd.de/hardware/2007/dts_dolby_hd.shtml [Stand: 13.01.2009]
[10] Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Sony/Philips_Digital_Interface [Stand: 15.01.2009]
[11] Vgl. http://area-dvd.de/hardware/2008/hd_questions.shtml [Stand: 15.01.2009]
[12] Vgl. http://area-dvd.de/hardware/2008/hd_questions.shtml [Stand: 15.01.2009]
[13] Vgl. http://www.hifi-regler.de/hdmi/hdmi_13a.php?SID=fcd071 e475a77040f773b2e3a0fd07e1 [Stand: 15.01.2009]
[14] Vgl. http://area-dvd.de/hardware/2008/hd_questions.shtml [Stand: 15.01.2009]
[15] Vgl. http://www.hifi-regler.de/lexikon/l/lip_sync.php [Stand: 16.01.2009]
[16] Vgl. http://area-dvd.de/hardware/2008/denon_dvd_2500bt.shtml [Stand: 16.01.2009]
[17] Vgl. http://www.denon.de/site/popup/index.php?p=techdat&Pid=362 [Stand: 17.01.2009]
[18] Vgl. http://www.areadvd.de/hardware/2008/hdmi_versions.shtml [Stand: 17.01.2009]
[19] Vgl. http://www.hdmi.org/consumer/hdmi_advantage.aspx [Stand: 19.01.2009]
[20] Vgl. http://www.hdmi.org/manufacturer/technology.aspx [Stand: 19.01.2009]
[21] Vgl. http://www.hifi-regler.de/hdmi/hdmi_13a.php?SID=fcd071 e475a77040f773b2e3a0fd07e1 [Stand: 19.01.2009]
[22] Vgl. http://www.hifi-regler.de/hdmi/hdmi_13a.php?SID=fcd071 e475a77040f773b2e3a0fd07e1 [Stand: 20.01.2009]
[23] Vgl. http://www.hifi-regler.de/hdmi/hdmi_13a.php?SID=fcd071 e475a77040f773b2e3a0fd07e1 [Stand: 19.01.2009]
[24] Vgl. http://www.hifi-regler.de/heimkino/receiver.php [Stand: 20.01.2009]
[25] Vgl. Biermann, Holger/Maier, Johannes, „Aus 2 mach 5". In: Stereoplay 06/2004, S.141 f.
[26] Vgl. http://www.denon.de/site/popup/index.php?p=erkl&Pid=386&FLid=11 [Stand: 19.01.2009]
[27] Vgl. http://www.areadvd.de/hardware/2007/onkyo_tx_nr905.shtml [Stand: 17.01.2009]
[28] Vgl. http://www.areadvd.de/hardware/2008/denon_avr2809_1.shtml [Stand: 17.01.2009]
[29] Vgl. http://www.hifi-regler.de/lexikon/p/phono-mm-eingang.php?menu=no [Stand: 17.01.2009]

[30] Vgl. http://www.denon.de/site/popup/index.php?Pid=386&action=start&ver= [Stand: 17.01.2009]
[31] Vgl. http://www.denon.de/site/datadir/pdf/ba/Bed_AVR-3808A.pdf [Stand: 19.01.2009]
[32] Vgl. http://www.denon.de/site/popup/index.php?p=erkl&Pid=386&FLid=11 [Stand: 20.01.2009]
[33] Vgl. http://www.eu.onkyo.com/de/products/PR-SC886.html [Stand: 20.01.2009]
[34] Vgl. http://www.denon.de/site/datadir/pdf/ba/Bed_AVR-2809.pdf [Stand: 10.01.2009]
[35] Vgl. http://www.eu.onkyo.com/de/products/PR-SC886.html [Stand: 10.01.2009]
[36] Vgl. http://www.denon.de/site/datadir/pdf/ba/Bed_AVR-2809.pdf [Stand: 15.01.2009]
[37] Vgl. http://www.denon.de/site/datadir/pdf/sonst/270_Audyssey_MultEQ-XT_FAQ.pdf [Stand: 15.01.2009]
[38] Vgl. http://www.denon.de/site/datadir/pdf/ba/Bed_AVR-2809.pdf [Stand: 10.01.2009]
[39] Vgl. http://www.areadvd.de/hardware/2008/denon_avc_a1hd.shtml [Stand: 12.01.2009]
[40] Vgl. http://www.audyssey.com/faq/index.html [Stand: 11.01.2009]
[41] Vgl. http://www.audyssey.com/technology/index.html [Stand: 12.01.2009]
[42] Vgl. http://www.audyssey.com/faq/index.html [Stand: 12.01.2009]
[43] Vgl. R.V., „So geht´s Hört! Hört!“. In: audiovision 12/2004, S. 104 f
[44] Vgl. http://www.areadvd.de/hardware/2008/denon_avc_a1hd.shtml [Stand: 12.01.2009]
[45] Vgl. http://www.audyssey.com/technology/dynamicEQ.html [Stand: 13.01.2009]
[46] Kyriakakis Chris, Interview mit Dennis Burger. Auf: http://www.electronichouse.com/article/audyssey_dynamic_eq_and_ dynamic_volume/D2/ [Stand: 15.01.2009]
[47] Vgl. Dickreiter, Michael,„Handbuch der Tonstudiotechnik Band 1“,6. Auflage,1997, S.110 f.
[48] Vgl. http://www.electronichouse.com/article/audyssey_dynamic_eq_and_ dynamic_volume/D2/ [Stand: 15.01.2009]
[49] Vgl. http://www.audyssey.com/technology/dynamicEQ.html [Stand: 15.01.2009]
[50] Vgl. http://www.electronichouse.com/article/audyssey_dynamic_eq_and_dynamic_ volume/D3/ [Stand: 15.01.2009]
[51] Vgl. http://www.areadvd.de/hardware/surroundaufpolierer.shtml [Stand: 15.01.2009]
[52] Vgl. http://www.dolby.de/consumer/technology/prologic_IIx.html [Stand: 15.01.2009]
[53] Vgl. http://www.areadvd.de/hardware/surroundaufpolierer.shtml [Stand: 15.01.2009]
[54] Vgl. http://www.lexicon.com/logic7/index.asp [Stand: 15.01.2009]
[55] Vgl. http://www.areadvd.de/hardware/surroundaufpolierer.shtml [Stand: 15.01.2009]
[56] Vgl. http://www.areadvd.de/hardware/2008/Yamaha_RX-V1800_04.shtml [Stand: 15.01.2009]
[57] Vgl. http://www.yamaha-hifi.de/kataloge/2008/Gesamtkatalog_02-2008_Dt.pdf [Stand: 15.01.2009]
[58] Vgl. http://www.hifi-regler.de/hifi/Lautsprecher.htm [Stand: 04.03.2009]
[59] Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/D%27Appolito-Anordnung [Stand: 04.03.2009]
[60] Vgl. Außerbauer, Michael, „Der rechte Ort”. In: Homevision 04/2005, S.114 f.
[61] Vgl. http://nubert.de/downloads/ts_12-15_surroundspeaker.pdf [Stand: 03.03.2009]
[62] Vgl. http://nubert.de/downloads/nuline_ds_22.pdf [Stand: 04.03.2009]
[63] Vgl. http://www.hifi-regler.de/hifi/Lautsprecher.htm#5 [Stand: 03.03.2009]
[64] Vgl. http://www.bluetronics.de/2007/01/05/woman-acceptance-factor/ [Stand: 16.03.2009]

[65] Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/LFE-Kanal [Stand: 14.03.2009]
[66] Vgl. Eifert Wolfram, „Sicheres Fundament". In: Stereoplay 08/2004, S.87 ff.
[67] Vgl. Eifert Wolfram, „Sicheres Fundament". In: Stereoplay 08/2004, S.86 ff.
[68] Vgl. De Leuw, Christoph, „Einser Kandidat". In: Audio 03/2005, S. 38 ff.
[69] Vgl. http://www.sengpielaudio.com/KopfbezogeneUebertragungsfunktionHRTF.pdf [Stand: 03.03.2009]
[70] Vgl. http://www.yamaha-hifi.com/kataloge/2008/Gesamtkatalog_02-2008_Dt.pdf [Stand: 03.03.2009]
[71] Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Sweet_Spot#Musik [Stand: 06.03.2009]
[72] Vgl. R.V., „So geht´s Kino von Anfang an". In: audiovision 9/2004, S. 94 ff.
[73] Vgl. R.V., „So geht´s Kino von Anfang an". In: audiovision 9/2004, S. 96
[74] Vgl. Außerbauer, Michael, „Der rechte Ort". In: Homevision 04/2005, S.112 ff.
[75] Vgl. Kress, Wilfried, „Der Klang der vier Wände". In: hifi & records 03/2001, Sonderdruck. S. 3
[76] Vgl. Everest, F. Alton, „Masterhandbook of Acoustics", Fourth Edition, 2001, S. 400 f.
[77] Vgl. Dickreiter, Michael, „Handbuch der Tonstudiotechnik Band 1",6. Auflage, 1997, S.12 f.
[78] Vgl. http://www.nubert.de/downloads/dba.pdf [Stand: 06.03.2009]
[79] Vgl. http://www.hunecke.de/de/rechner/raumeigenmoden.html [Stand: 06.03.2009]
[80] Vgl. Eifert Wolfram, „Sicheres Fundament". In: Stereoplay 08/2004, S.86 ff.
[81] Vgl. http://www.monkeyforest.de/Page10383/Aktuell_dt/DAGA2003-Paper.PDF [Stand: 06.03.2009]
[82] Vgl. http://www.nubert.de/downloads/dba.pdf [Stand: 06.03.2009]
[83] Vgl. Everest, F. Alton, „Masterhandbook of Acoustics", Fourth Edition, 2001, S. 204 ff.
[84] Vgl. http://www.hifi-forum.de/viewthread-72-601.html [Stand: 06.03.2009]
[85] Vgl. Dickreiter, Michael, „Handbuch der Tonstudiotechnik Band 1",6. Auflage, 1997, S.22 f.
[86] Vgl. Außerbauer, Michael, „Raumton". In: Homevision 09/2004, S. 74 ff.
[87] Vgl. Everest, F. Alton, „Masterhandbook of Acoustics", Fourth Edition, 2001, S. 135 ff.
[88] Vgl. http://www.hunecke.de/de/wissen/raumakustik/nachhallzeit.html [Stand: 07.03.2009]
[89] Vgl. http://www.hunecke.de/de/rechner/lautsprecher.html [Stand: 07.03.2009]
[90] Vgl. http://nubert.de/downloads/nuwave_rs_5.pdf [Stand: 08.03.2009]
[91] Vgl. Dickreiter, Michael, „Handbuch der Tonstudiotechnik Band 1",6. Auflage, 1997, S. 20
[92] Vgl. Außerbauer, Michael, „Raumton". In: Homevision 09/2004, S. 78
[93] Vgl. Dickreiter, Michael, „Handbuch der Tonstudiotechnik Band 1",6. Auflage, 1997, S. 18
[94] Vgl. Dickreiter, Michael, „Handbuch der Tonstudiotechnik Band 1",6. Auflage, 1997, S. 19
[95] Vgl. Dickreiter, Michael, „Handbuch der Tonstudiotechnik Band 1", 6. Auflage, 1997, S. 20
[96] Vgl. http://www.dolby.de/consumer/home_entertainment/roomlayout_tb01.html [Stand: 08.03.2009]
[97] Vgl. http://nubert.de/downloads/nubox_381.pdf [Stand: 08.03.2009]
[98] Vgl. Außerbauer, Michael, „Der rechte Ort". In: Homevision 04/2005, S.113 f.
[99] Vgl. http://nubert.de/downloads/nuwave_85.pdf [Stand: 10.03.2009]
[100] Vgl. Außerbauer, Michael, „Der rechte Ort". In: Homevision 04/2005, S.113 ff.
[101] Vgl. http://www.denon.de/site/datadir/pdf/ba/Bed_AVR-3808A.pdf [Stand: 09.03.2009]
[102] Vgl. R.V., „So geht´s Hört! Hört!". In: audiovision 12/2004, S. 105
[103] Vgl. http://home-entertainment.magnus.de/hifi-sound/artikel/subwoofer-richtig-

aufstellen.html [Stand: 11.03.2009]

[104] Vgl. R.V., „So geht´s Hört! Hört!". In: audiovision 12/2004, S. 106

[105] Vgl. http://www.nubert-shop.de/downloads/nuline_aw_1000.pdf [Stand: 11.03.2009]

[106] Vgl. R.V., „So geht´s Kino von Anfang an". In: audiovision 9/2004, S. 94

[107] Vgl. Außerbauer, Michael, „Der rechte Ort". In: Homevision 04/2005, S.114 f.

[108] Vgl. L.Ö., „Kino ODER Kino zu Hause?". In: audiovision 9/2004, S. 16 f.

[109] Vgl. http://www.obs.coe.int/about/oea/pr/mif2008_cinema.html.de [Stand: 20.03.2009]

[110] Vgl. http://www.idmt.fraunhofer.de/de/projekte_themen/wellenfeldsynthese.htm [Stand: 18.03.2009]

[111] Vgl. http://www.iosono-sound.com/index.html [Stand: 18.03.2009]

[112] Vgl. http://home-entertainment.magnus.de/foto-video/artikel/wellenfeldsynthese-system-fuer-daheim.html [Stand: 19.03.2009]

10.2. Buchquellen

Dickreiter, Michael (1997) „Handbuch der Tonstudiotechnik Band 1" (6. Auflage). München: K.G. Saur

Eversest F. Alton (2001) „Master Handbook of Acoustics" (Fourth Edition). Columbus: McGraw-Hill

10.3. Zeitschriften

Audio 03/2005; De Leuw, Christoph, „Einser Kandidat"
audiovision 9/2004; L.Ö., „Kino ODER Kino zu Hause?"
audiovision 9/2004; R.V., „So geht´s Kino von Anfang an"
audiovision 12/2004; R.V., „So geht´s Hört! Hört!"
hifi & records 03/2001,Sonderdruck; Kress, Wilfried, „Der Klang der vier Wände"
Homevision 04/2005; Außerbauer, Michael, „Der rechte Ort"
Stereoplay 06/2004; Biermann, Holger/Maier, Johannes, „Aus 2 mach 5"
Stereoplay 08/2004; Eifert Wolfram, „Sicheres Fundament"

10.4. Internetquellen

http://area-dvd.de/hardware/2008/hd_questions.shtml [Stand: 16.01.2009]
http://area-dvd.de/hardware/2007/dts_dolby_hd.shtml [Stand: 13.01.2009]
http://area-dvd.de/hardware/2008/denon_dvd_2500bt.shtml [Stand: 16.01.2009]
http://www.areadvd.de/hardware/2006/Blu-ray_Disc_HD-DVD_Special_2006_01.shtml

[Stand: 12.01.2009]
http://www.areadvd.de/hardware/2008/hdmi_versions.shtml [Stand: 17.01.2009]
http://www.areadvd.de/hardware/2007/onkyo_tx_nr905.shtml [Stand: 17.01.2009]
http://www.areadvd.de/hardware/2008/denon_avr2809_1.shtml [Stand: 17.01.2009]
http://www.areadvd.de/hardware/2008/denon_avc_a1hd.shtml [Stand: 12.01.2009]
http://www.areadvd.de/hardware/surroundaufpolierer.shtml [Stand: 15.01.2009]
http://www.areadvd.de/hardware/2008/Yamaha_RX-V1800_04.shtml
[Stand: 15.01.2009]
http://www.audyssey.com/faq/index.html [Stand: 11.01.2009]
http://www.audyssey.com/technology/index.html [Stand: 12.01.2009]
http://www.audyssey.com/faq/index.html [Stand: 12.01.2009]
http://www.audyssey.com/technology/dynamicEQ.html [Stand: 13.01.2009]
http://www.bluetronics.de/2007/01/05/woman-acceptance-factor/
[Stand: 16.03.2009]
http://www.denon.de/site/popup/index.php?p=techdat&Pid=362
[Stand: 17.01.2009]
http://www.denon.de/site/popup/index.php?p=erkl&Pid=386&FLid=11
[Stand: 19.01.2009]
http://www.denon.de/site/popup/index.php?Pid=386&action=start&ver=
[Stand: 17.01.2009]
http://www.denon.de/site/datadir/pdf/ba/Bed_AVR-2809.pdf [Stand: 10.01.2009]
http://www.denon.de/site/datadir/pdf/ba/Bed_AVR-3808A.pdf [Stand: 09.03.2009]
http://www.denon.de/site/datadir/pdf/sonst/270_Audyssey_MultEQ-XT_FAQ.pdf
[Stand: 15.01.2009]
http://www.dolby.de/consumer/technology/dolby_digital_plus.html
[Stand: 16.01.2009]
http://www.dolby.de/consumer/technology/trueHD.html [Stand: 16.01.2009]
http://www.dolby.de/consumer/technology/prologic_llx.html [Stand: 15.01.2009]
http://www.dolby.de/consumer/home_entertainment/roomlayout_tb01.html
[Stand: 08.03.2009]
http://www.dts.com/~/media/B962F033C9254AD4B62ECFC6293C9E86.ashx
[Stand: 17.01.2009]
http://www.nationmaster.com/encyclopedia/DTS-Coherent-Acoustics
[Stand: 12.01.2009]
http://www.electronichouse.com/article/audyssey_dynamic_eq_and_
dynamic_volume/D2/
Kyriakakis Chris, Interview mit Dennis Burger. Auf: [Stand: 15.01.2009]
http://www.electronichouse.com/article/audyssey_dynamic_eq_and_
dynamic_volume/D2/ [Stand: 15.01.2009]
http://www.electronichouse.com/article/audyssey_dynamic_eq_and_dynamic_
volume/D3/ [Stand: 15.01.2009]
http://www.eu.onkyo.com/de/products/PR-SC886.html [Stand: 20.01.2009]
http://www.hdmi.org/consumer/hdmi_advantage.aspx [Stand: 19.01.2009]
http://www.hdmi.org/manufacturer/technology.aspx [Stand: 19.01.2009]
http://www.hifi-regler.de/hifi/Lautsprecher.htm [Stand: 04.03.2009]

http://www.hifi-regler.de/hifi/Lautsprecher.htm#5 [Stand: 03.03.2009]
http://www.hifi-regler.de/lexikon/l/lip_sync.php [Stand: 16.01.2009]
http://www.hifi-regler.de/hdmi/hdmi_13a.php?SID=fcd071
e475a77040f773b2e3a0fd07e1 [Stand: 20.01.2009]
http://www.hifi-regler.de/heimkino/receiver.php [Stand: 20.01.2009]
http://home-entertainment.magnus.de/hifi-sound/artikel/subwoofer-richtig-
aufstellen.html [Stand: 11.03.2009]
http://home-entertainment.magnus.de/foto-video/artikel/wellenfeldsynthese-
system-fuer-daheim.html [Stand: 19.03.2009]
http://www.hunecke.de/de/rechner/raumeigenmoden.html [Stand: 06.03.2009]
http://www.hunecke.de/de/wissen/raumakustik/nachhallzeit.html
[Stand: 07.03.2009]
http://www.hunecke.de/de/rechner/lautsprecher.html [Stand: 07.03.2009]
http://www.idmt.fraunhofer.de/de/projekte_themen/wellenfeldsynthese.htm
[Stand: 18.03.2009]
http://www.iosono-sound.com/index.html [Stand: 18.03.2009]
http://www.lexicon.com/logic7/index.asp [Stand: 15.01.2009]
http://www.monkeyforest.de/Page10383/Aktuell_dt/DAGA2003-Paper.PDF
[Stand: 06.03.2009]
http://nubert.de/downloads/ts_12-15_surroundspeaker.pdf [Stand: 03.03.2009]
http://nubert.de/downloads/nuline_ds_22.pdf [Stand: 04.03.2009]
http://nubert.de/downloads/nuwave_85.pdf [Stand: 10.03.2009]
http://www.nubert-shop.de/downloads/nuline_aw_1000.pdf [Stand: 11.03.2009]
http://www.nubert.de/downloads/dba.pdf [Stand: 06.03.2009]
http://nubert.de/downloads/nuwave_rs_5.pdf [Stand: 08.03.2009]
http://www.obs.coe.int/about/oea/pr/mif2008_cinema.html.de [Stand: 20.03.2009]
http://www.sengpielaudio.com/KopfbezogeneUebertragungsfunktionHRTF.pdf
[Stand: 03.03.2009]
http://de.wikipedia.org/wiki/Blu-ray_Disc [Stand: 18.01.2009]
http://de.wikipedia.org/wiki/Sony/Philips_Digital_Interface [Stand: 15.01.2009]
http://de.wikipedia.org/wiki/D%27Appolito-Anordnung [Stand: 04.03.2009]
http://de.wikipedia.org/wiki/LFE-Kanal [Stand: 14.03.2009]
http://de.wikipedia.org/wiki/Sweet_Spot#Musik [Stand: 06.03.2009]
http://www.yamaha-hifi.de/kataloge/2008/Gesamtkatalog_02-2008_Dt.pdf
[Stand: 15.01.2009]