

Diplomarbeit

„Game Audio“ Aktuelle Trends in Technik und Gestaltung

Ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades eines
Dipl.-Ing. (FH) für Telekommunikation und Medien
am Fachhochschul-Diplomstudiengang Telekommunikation und Medien St. Pölten

unter der Leitung von

Dipl.-Ing. Hannes Raffaseder

und

Dipl.-Ing. Franz Zotlöterer

ausgeführt von

Michael Leitner

tm011060

Salzburg, am 25. Mai 2005

Unterschrift:

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich versichere, dass

- ich diese Diplomarbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

- ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im Inland noch im Ausland einem Begutachter/einer Begutachterin zur Beurteilung oder in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Diese Arbeit stimmt mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit überein.

.....
Ort, Datum Unterschrift

1. VORWORT	6
2. EINFÜHRUNG	8
3. ABSTRACT	10
4. TECHNISCHE GRUNDLAGEN DER AUDIOTECHNIK	11
4.1 Was ist Audio?	12
4.2 Physikalische Größen und Grundlagen	13
4.2.1 Massenträgheit	14
4.2.2 Grundfrequenz	16
4.2.3 Ausbreitungsgeschwindigkeit	16
4.3 Signale	17
4.3.1 Signalübermittlung	17
4.3.2 Signalformen und Darstellungsmöglichkeiten	18
4.3.3 Der Frequenzbereich	23
4.3.4 Zeitlicher Verlauf von Schallsignalen	24
4.4 Systeme	26
4.4.1 Verzerrungen und Klirrfaktor	26
4.4.2 Filter	27
4.5 Schallausbreitung	28
4.5.1 Hörschwelle und Schmerzgrenze	29
4.5.2 Reflexion	30
4.5.3 Absorption, Dissipation und Transmission	30
4.5.4 Beugung	31
4.5.5 Direktschall, Erstreflexion und Nachhall	32
5. WAHRNEHMUNG	34
5.1 Anatomie des menschlichen Hörorgans	35
5.1.1 Das Außenohr	35
5.1.2 Das Mittelohr	36
5.1.3 Das Innenohr	37
5.2 Eigenschaften von akustischen Ereignissen	39
5.2.1 Klänge und Geräusche	39

5.3	Aspekte der Wahrnehmung & Psychoakustik	39
5.3.1	Ruhehörschwelle und Hörfläche	40
5.3.2	Verlauf der Hörschwelle & Schädigung durch Lärmeinwirkung	41
5.3.3	Unterscheidungsschwelle	43
5.3.4	Wahrnehmung physikalischer Eigenschaften	44
5.3.5	Lautstärke und Dauer	44
5.3.6	Tonhöhen	45
5.3.7	Klangfarbe	48
5.4	Räumliche Wahrnehmung	49
5.4.1	Wahrnehmung der räumlichen Richtung	51
5.4.2	Wahrnehmung der räumlichen Tiefe	52
6.	COMPUTERSPIELE UND SOUNDSYSTEME	54
6.1	Die Geschichte der Videospiele	55
6.2	Entwicklung von Soundkarten und – standards	61
6.2.1	PC Speaker (1981)	61
6.2.2	IBM PC Junior (1983)	62
6.2.3	AdLib (1987)	63
6.2.4	GameBlaster (1988)	64
6.2.5	Roland LAPC-1 (1988)	65
6.2.6	SoundBlaster, SoundBlaster 16 und AWE 32 (1989 – 1993)	66
6.2.7	SoundBlaster 64 bis SoundBlaster Audigy 4 Pro (1993 – 2005)	69
6.3	Aktuelle Techniken und Gestaltungsmittel	71
6.3.1	Direct Sound und Direct Music	71
6.3.2	Schnittstellen und APIs	73
6.3.3	EAX	74
6.3.4	Soundtracks und Effekte	77
6.3.5	Aspekte der Soundentwicklung und Bibliotheken	78
6.3.6	Audiokompression	78
6.3.7	Mehrkanalton	80
6.3.8	Blick in die Zukunft	87
7.	UMFRAGE	90
7.1	Allgemeine Informationen	103
7.2	Ergebnisse	104

8. VERSUCH	132
8.1 Versuchsanordnung	132
8.2 Versuchsablauf	133
8.3 Ergebnisse	134
8.4 Interpretation	140
9. LITERATUR- UND QUELLENVERZEICHNIS	142
10. DANKSAGUNG	145

1. Vorwort

Warum Computerspiele? Warum Audiotechnik?

Mein 6. Geburtstag, der 11. April 1990, der Tag an dem ich einen „Nintendo Game Boy“ bekam, war wohl der Startschuss für mein jetziges Haupthobby Computerspiele.

Aus der anfänglichen kindlichen Neugier für das unbekannte, neue, damals noch futuristische, Medium wuchs ein nicht zu bremsendes Interesse das sich bis heute gehalten hat und nun den vorläufigen Höhepunkt in meiner Diplomarbeit findet.

Auch wenn sich über die Jahre vieles geändert hat, der „Game Boy“ vom „Super Nintendo“ und jener schließlich vom „Personal Computer“ abgelöst wurde, ist für mich die Welt der Computerspiele immer noch so fantastisch und faszinierend wie vor 15 Jahren. Aus pixeligen Klötzchen, die in Reihen anzuordnen waren, sind riesige lebendige Spielwelten geworden, die dem Spieler eine Fülle an Möglichkeiten geben und diesen immer tiefer in das fiktive Geschehen eintauchen lassen.

Am Prinzip hat sich freilich nichts geändert. Computerspiele sollen den Benutzer unterhalten und Freude bereiten, ihn vielleicht auch ein wenig aus dem Alltag reißen und vergessen lassen, was natürlich wiederum die Erschaffer von Videospielen vor neue Herausforderungen stellt, denn wer gibt sich schon heute mit pixeligen Blöcken zufrieden bzw. bezahlt dafür. Wo bereits der nächste Grund für diese Diplomarbeit genannt worden ist.

Obwohl das Computerspiele Business auf den Umsatz gerechnet bereits mit Hollywood mithalten kann, und Star Designer bzw. Producer wie Peter Molyneux (Black & White, Fable), Gabe Newell (Half Life, Half Life2) oder John Carmack (Doom1 - 3) in gewissen Maßen zu Pop Ikonen der Videospiel Szene aufgestiegen sind, gibt es immer noch erschreckend wenig Fachliteratur über Computerspiele, vor allem im Bereich des Audio Designs.

Ein Grund dafür könnte sein dass die Wirkung des Audio Designs, speziell bei Videospiel Produktionen anscheinend immer noch stark unterschätzt bzw. in Punkto Wichtigkeit und Ansehen hinter der visuellen Präsentation des Produktes rangiert.

Obwohl man sagen muss, dass in diesem Bereich in den letzten Jahren starke Verbesserungen aufgetreten sind, scheint es doch den meisten Usern von Videospielen primär auf die Grafik anzukommen und bewerten daher das Produkt auch dementsprechend nur nach visuellen Kriterien. Es wird aber leider oft vergessen, dass es

nicht zuletzt dem Sounddesign zu verdanken ist, dass wir nicht nur schöne fiktive Welten zu sehen bekommen, sondern in jene auch quasi eintauchen können und das Erlebnis „Computerspielen“ so genießen können, wie es sein sollte, mit Augen und Ohren.

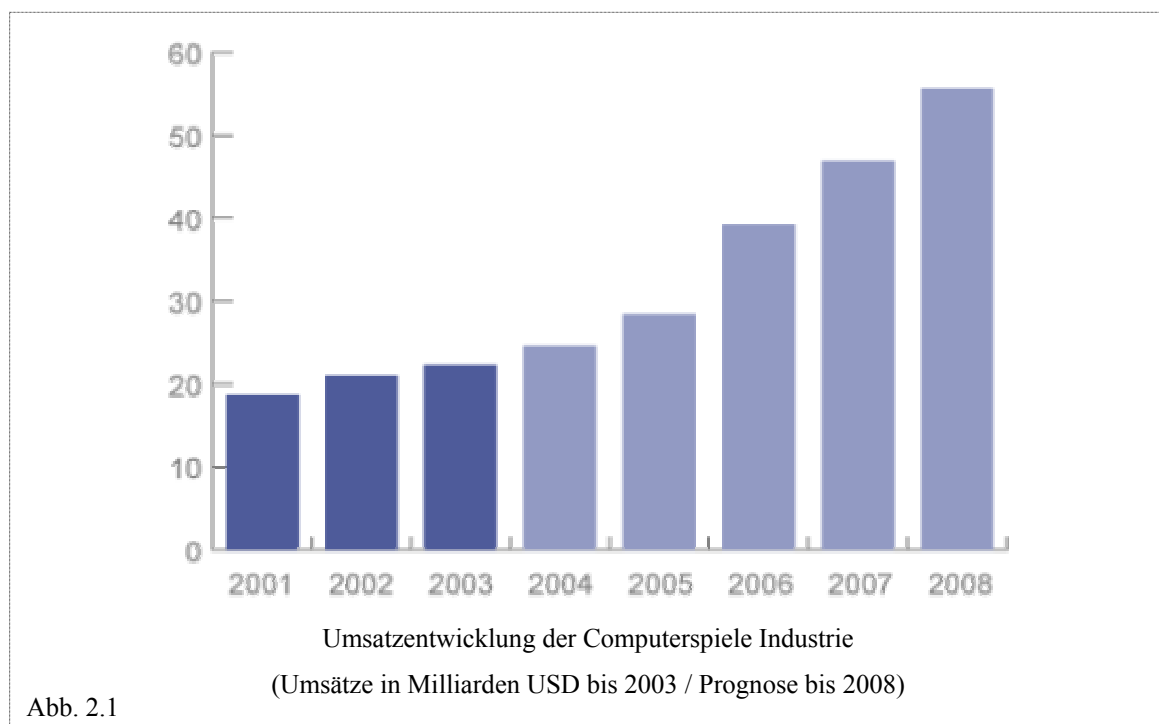
Salzburg im März 2005

Michael Leitner

2. Einführung

Die Diplomarbeit soll einen Einblick in die Welt des Videospiel Audiodesigns bieten, eventuelle Schwachstellen von aktuellen (Gestaltungs-) Techniken aufdecken und daraus resultierend Verbesserungsvorschläge vorstellen.

Auch wenn das Thema Computerspiele vielleicht auf den ersten Blick eher der „jüngeren Generation“ vorbehalten zu sein scheint, so muss diese Sicht der Dinge doch relativiert werden. Denkt man nur an Videospiele, die mittlerweile in jedem Mobiltelefon zu finden sind, in Flugzeugen bei Langstreckenflügen im Multimedialen Unterhaltungssystem in der Kopfstütze des Vordermannes integriert sind, oder an Mini Spielchen im Internet, welche zumeist auf Shockwave oder Flash Anwendungen basieren (als bestes Beispiel wäre hier wohl das jedem nur allzu gut bekannte „Moorhuhn“ der Firma Phenomedia zu nennen), so wird wohl jedem bewusst werden, dass Computerspiele ein wichtiger und nicht zu unterschätzender Teil unserer heutigen Unterhaltungs- Medienlandschaft, auch in umsatztechnischer Hinsicht, geworden sind. (Abbildung 2.1) ¹



¹ vgl. http://www.aacapital-atlantic.de/gamefonds2_markt.html

Die Diplomarbeit gliedert sich in einen ersten technischen Teil, in dem die Grundlagen der Audiotechnik vermittelt werden. Physikalische Grundlagen des Schalls werden genauso besprochen wie dessen Entstehung, Ausbreitung und Übermittlung. Daraus resultierend wird im darauf folgenden Kapitel ein etwas näherer Blick auf die Wahrnehmung des menschlichen Gehöres geworfen, und Fragen zur Funktion des Hörorgans sowie zur Wirkung akustischer Ereignisse auf den Menschen und dessen Verhalten beantwortet.

Der Zweite Teil der Diplomarbeit widmet sich der Geschichte der Videospiele und deren Entwicklung bis zum jetzigen technischen und gestalterischen Stand. Es werden die wichtigsten Meilensteine in der Geschichte der Computerspiele vorgestellt, sowie ein genauerer Blick auf die Entwicklung von Soundsystemen und Soundkarten geworfen. Weiters werden in diesem Kapitel aktuelle Techniken im Bereich des Audiodesigns vorgestellt und ein Blick in die Zukunft gewagt.

Teil Drei der Diplomarbeit ist einer Umfrage gewidmet, die gemeinsam mit Gerald Schöllhammer durchgeführt wurde. Außerdem findet sich im dritten Kapitel die Vorstellung und Auswertung eines Versuches, den ich mit drei Testpersonen durchgeführt habe.

3. Abstract

The diploma thesis offers a view into the world of audio design for video games. Possible weak points of current techniques are uncovered and from these results suggestions for avoiding those weak points are presented.

Even if at first sight the topic of computer games rather confronts the “recent generation”, this opinion can’t be generalized. Thinking about video games that can be found on every mobile telephone, on every airplane, integrated in the head restraint of the preceding endorser, or mini computer games, mostly based on Shockwave or Flash applications in the Internet (like the famous “Moorhuhn Jagd”), everyone must realize that computer games became an important part of our current media landscape.

The diploma thesis is divided into a first technical part, in which the bases of audio technology are obtained. Physical fundamentals of sound can be found, as well as its emergence, propagation and transmission. Resulting from this chapter a closer view of the perception follows. Questions about perception of sound of the human being are as well answered as the effects of acoustic events on humans and its behavior.

The second part of the diploma thesis dedicates itself to the history of video games and their development, up to the current technical and formative conditions. The most important milestones in the history of computer games are introduced as well as a more exact view about the development of sound systems and soundcards. Further in this chapter current techniques within the range of audio design are presented and a view into the future is dared.

Part three of the diploma thesis is dedicated to a survey on sound design, which was accomplished together with Gerald Schoellhammer. Additionally to the survey the conception and evaluation of an experiment are presented.

4. Technische Grundlagen der Audiotechnik

Um Sound wirkungsvoll und passend in interaktiven Medien, welche Videospiele darstellen, platzieren zu können, ist es wichtig, die physikalischen technischen Grundlagen von Schall und dessen Entstehung und Ausbreitung zu verstehen. Denn nichts reisst einen begeisterten Spieler mehr aus der atmosphärischen Dichte eines Spieles, wenn plötzlich die Schritte, welche sein virtueller Charakter in einer gewaltigen Kathedrale in Paris macht, nach Tapsern in einem Badezimmer klingen, oder die visuell gröhrenden, euphorischen Fans in einem ausverkauften Stadion im Champions League Finale zwischen Arsenal London und Real Madrid nach einem Knabenchor klingen. Auch wenn dies sehr extreme Beispiele sind, leidet in einer solchen Situation offensichtlich die Atmosphäre und damit das ganze Spielerlebnis. Vielleicht wird der Spieler nicht sofort bewusst wahrnehmen, dass Bild und Ton nicht dieselbe Sprache sprechen, aber er wird sicherlich unterbewusst merken, dass etwas nicht stimmt, und dann kann von packender Atmosphäre und einem gelungenen Videospiegel wohl beim besten Willen keine Rede mehr sein.

Daher ist es wichtig zu verstehen, was mit Schall z.B. in einer Kirche oder einem Stadion passiert, wie jener von den Wänden reflektiert wird und sich hinter eventuellen Säulen oder anderen im Weg stehenden Objekten seinen Weg fortpflanzt, und wie ändert sich das Schallerlebnis, wenn sich der Rezipient bewegt und seine ursprüngliche Position verändert.

All dies sind physikalische Grundlagen der Audiotechnik, die in diesem Kapitel beantwortet werden.

4.1 Was ist Audio?

Da unsere heutige Welt von visuellen Eindrücken dominiert wird, ist eine grundsätzliche Definition von Audio bzw. des Schalls angebracht.

Audio (lat. ich höre, von audire (Inf.) hören) wird als Bestandteil von Worten verwendet, die mit dem Begriff Hören oder Tontechnik zu tun haben, z. B. Auditorium, Audioanlage, Audiometer. Eine Vielzahl von menschlichen Handlungen, natürlichen Vorgängen und Bewegungen bewirkt stets auch charakteristische akustische Ereignisse.

Das heißt dass sich unsere akustische Umwelt aus vielen kleinen akustischen Ereignissen zusammensetzt, die entweder von uns selber oder aber von unserer Umwelt produziert werden und diese dann auf Grund von Schall wahrgenommen werden können. Die Handlung bzw. der Vorgang als Ursache und das akustische Ereignis als deren Wirkung sind dabei fest aneinander gebunden.² (Siehe Tabelle 3.1)

<u>Handlung / Vorgang / Bewegung (Ursache)</u>	<u>Akustisches Ereignis (Wirkung)</u>
Autofahren	Motorgeräusch
Nageleinschlagen	Hammerklopfen
Braten von Fleisch	Brutzeln des Fettes
Druckausgleich in der Luft	Heulen des Windes

Tab. 3.1

Diese Wechselwirkung zwischen Ursache und Wirkung wird ganz bewusst in Unterhaltungsmedien (z.B. bei Filmen oder Videos) eingesetzt, um so eine tiefere Atmosphäre zu erzeugen und den Rezipienten noch tiefer in das Geschehen eintauchen zu lassen. Bei Videospielen passiert im Prinzip nichts anderes, nur ist der Unterschied hierin gegeben, dass das Medium interaktiv ist und somit die Audiokulisse in Echtzeit an die jeweilige Situation angepasst werden muss bzw. soll. Somit lässt sich ein weiterer wichtiger Aspekt über die Definition von Audio aussagen: Akustische Ereignisse jeglicher Art wecken ganz unterschiedliche Emotionen und können somit Situationen noch besser unterstreichen, als wenn diese nur mit optischen Reizen beschrieben werden.

² vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.13ff

Gute Beispiele wären demzufolge Schlachtgesänge bei Fußballspielen, Trinklieder, Tanzmusik oder Trauermusik, wobei wir nun wieder bei den beiden erstgenannten Beispielen mit der Kathedrale oder dem Fußballstadion wären.

Surround Sound Technologien wie z.B. die EAX Standards (siehe: Kapitel 5.3.3) bei gängigen Soundkarten bieten außerdem unter Einsatz eines dazugehörigen Surround Sound Boxen Systems die Möglichkeit, Schallereignisse für Ortsbestimmungen zu verwenden und somit z.B. bei einem „First Person Shooter“ hinter dem Spieler rauschende Palmen, das Singen von Vögeln oder das Brechen von Wellen zu simulieren, um die Authentizität des Spielszenarios zu steigern.

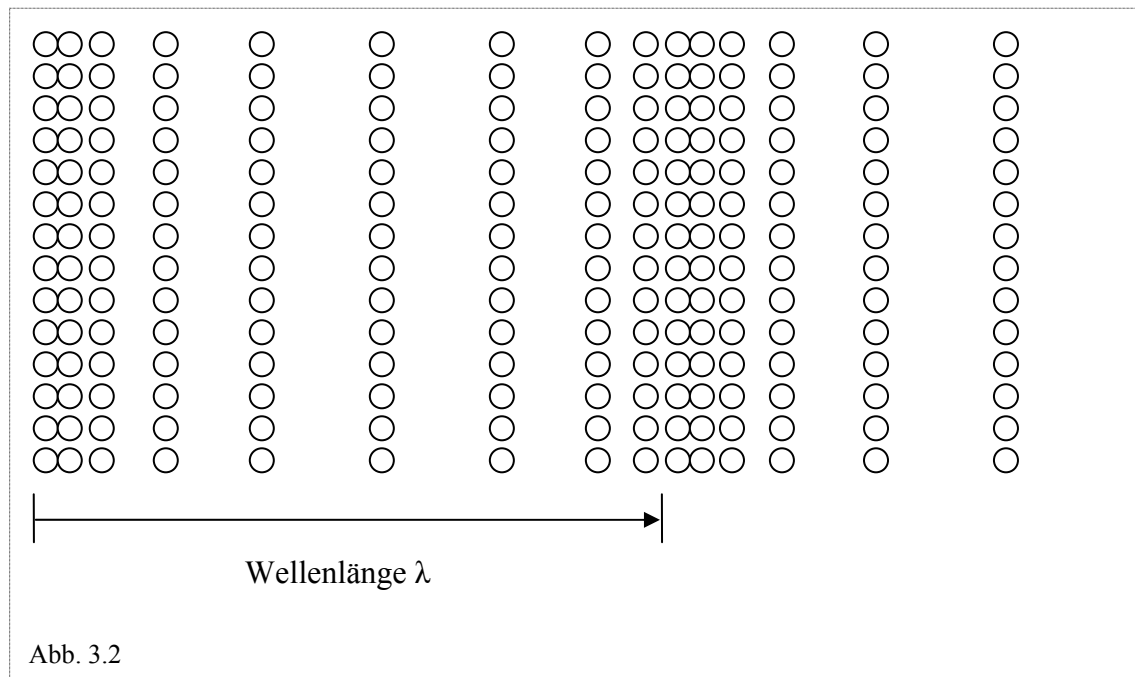
4.2 Physikalische Größen und Grundlagen

Nach dieser kurzen Definition von Audio bzw. Schall, wissen wir jetzt was damit gemeint ist bzw. gemeint sein kann. Nun ist es jetzt umso interessanter zu verstehen, wie ein Geräusch oder Ton entsteht.

Die physikalische Grundlage aller akustischen Erscheinungen sind Druck- bzw. Dichteschwankungen in einem elastischen Medium, wie zum Beispiel Luft oder Wasser. Wenn sich der Druck innerhalb von Zeitintervallen zwischen etwa 0,05 und 50 Millisekunden ändert, so sind Schwankungen hörbar und es wird von Schall gesprochen. Solche so genannte Druckschwankungen werden von einem sich in Bewegung befindlichen bzw. schwingenden oder vibrierenden Objekt hervorgerufen. Bestes Beispiel hierfür wäre z.B. die Saite einer Gitarre, eines Klaviers oder die menschlichen Stimmbänder.³

Könnte die Zeit angehalten werden, und wären wir in der Lage Luftmoleküle zu sehen, könnten Druck bzw. Dichteschwankungen folgendermaßen aussehen. (siehe Abbildung 3.2)

³ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.17



An der Abbildung ist gut zu erkennen, wie sich bei der Schallausbreitung immer wieder Dichtemaxima und Dichteminima bilden. Es kommt daher zu einer Kettenreaktion, in der sich die Moleküle der Luft gegenseitig verdrängen und dadurch die Wellenlänge λ definiert werden kann. Die Wellenlänge λ erstreckt sich immer vom Anfang eines Dichtemaximas bis zum Ende eines Dichteminimas. So wie die Periodendauer T die zeitliche Periodizität darstellt, beschreibt die Wellenlänge λ die räumliche Periodizität einer Welle.⁴

4.2.1 Massenträgheit

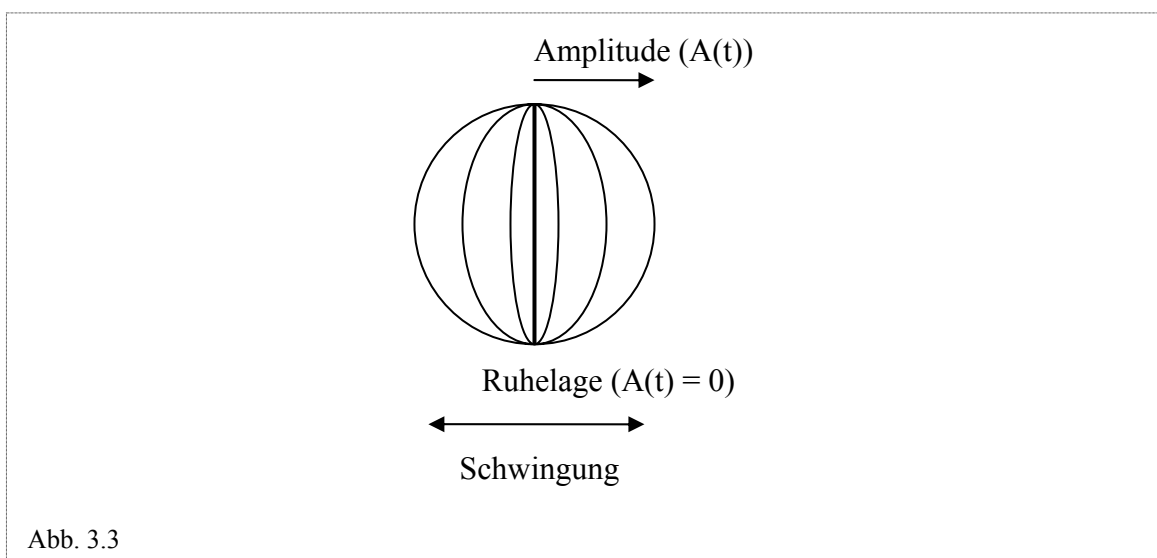
Eine weitere wichtige physikalische Erscheinung bei der Entstehung von Schall ist die materialspezifische Massenträgheit.

Stellt man sich eine Gitarrensaite vor, die angezupft wird um einen Ton zu erzeugen, so wirkt auf diese eine Anregungskraft f . Die Saite wird sich um eine gewisse Distanz aus der Ruhelage entfernen, bis diese losgelassen wird, und sich danach wieder gegen ihren Ursprung bewegen. Auf Grund ihrer Elastizität wird sich die Saite mehr oder weniger aus

⁴ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.19

ihrer Ruhelage bewegen lassen, man denke nur an die hohe e Saite einer Violine und dazu im Vergleich an die tiefe g Saite eines Cellos.

Wenn sich die Gitarrensaite nun wieder gegen ihre ursprüngliche Position bewegt, wird sie diese nicht sofort wieder einnehmen, sondern auf Grund des 2. Newtonschen Gesetzes, der so genannten Masseträgheit, über jene hinausschwingen, bis die Energie des Anzupfens nicht mehr reicht, sich über den Ursprungspunkt hinauszubewegen. Diese Distanz, die die Saite auf ihrem Weg zwischen Ruhelage und maximale Auslenkung zurücklegt, wird auch als Amplitude $A(t)$ bezeichnet. (Siehe Abbildung 3.3)



Resultierend aus dem gerade beschriebenen Vorgang lässt sich die Formel des 2. Newtonschen Gesetzes bilden.

$$F = m \cdot a$$

Kraft = Masse * Beschleunigung

Daher kann man folgende Aussage für das allgemeine Schwingverhalten machen. Die Beschaffenheit des Materials und die Masse eines Körpers bestimmen das Schwingverhalten.⁵

⁵ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.18

4.2.2 Grundfrequenz

Die Anzahl der Schwingungsperioden, die ein Körper in einer Sekunde zwischen den maximalen Auslenkungen um die Ruhelage $A(t) = 0$ macht, nennt man Grundfrequenz. Diese lässt sich auch aus dem Reziprokwert der Periodendauer bilden und wird in Hertz gemessen.

Wie schon vorher festgestellt, sind Druckschwankungen in einem elastischen Medium in einem Bereich von 0,05 und 50 Millisekunden hörbar.

Es gilt daher folgende Aussage.

$$50 \text{ ms} < T < 0,05 \text{ ms}$$

$$f = 1 / T \text{ [in Hz]}$$

T... Periodendauer

Für Schall ergibt sich daher folgender (hörbarer) Frequenzbereich.

$$20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$$

Dieser Bereich wird in der Audiotechnik als der hörbare Frequenzbereich für akustische Ereignisse definiert. Natürlich ist dieser hörbare Bereich reine mathematische Theorie, da sich mit dem Alter oder eventuellen Hörerkrankungen der Frequenzbereich, in dem ein Mensch einen akustischen Reiz wahrnimmt, verschieben kann. Generell kann gesagt werden, dass sich der Hörbereich bei einem durchschnittlich gesunden jungen Menschen zwischen 50Hz und 15 kHz bewegt. Doch dazu später mehr.

4.2.3 Ausbreitungsgeschwindigkeit

Eine weitere wichtige messbare physikalische Größe im Zusammenhang mit Schallwellen ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit v .

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit v hängt von der Elastizität des Mediums ab und beträgt in der Luft etwa 343m/s.

Es gilt daher bei einer Raumtemperatur von 20 °C.

$$v_{\text{Luft}}(20\text{ °C}) = 343\text{m/s}$$

Dieser Wert kann abhängig von der Temperatur der Umgebung variieren. Es gilt aber allgemein die Faustregel dass sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall pro 1 °C um etwa 0,6m/s erhöht bzw. verringert.

Weiters gilt zwischen der Schallgeschwindigkeit v , der Frequenz f und der Wellenlänge λ der Zusammenhang.

$$V = \lambda * f$$

4.3 Signale

Eine Herausforderung der Audiotechnik ist, die Information eines akustischen Ereignisses vom Sender zum Empfänger bestmöglich zu übertragen. Denn was bringt das schönst gespielte Neujahrskonzert, wenn beim Zuseher bzw. Zuhörer zuhause nur Rauschen oder krachende Geräusche zu hören sind.

Daher ist es des Öfteren notwendig, das akustische Ereignis von einer Energieform in eine andere umzuwandeln, und eventuelle technisch bedingte Fehler in der Übertragung möglichst klein zu halten. Natürlich ist es quasi unmöglich, ein Audiosignal auf diese Weise so zu übertragen, dass es mathematisch identisch am Ort des Empfängers ankommt, ein Signalwandler dieser Art könnte daher auch als „idealer Wandler“ bezeichnet werden, doch können auftretende Fehler durch eine optimale Abstimmung einzelner Teilkomponenten aufeinander so minimiert werden, dass negative Veränderungen im Signal am Ende einer so genannten Signalkette nicht oder kaum vom Rezipienten wahrgenommen werden.

4.3.1 Signalübermittlung

Anhand eines Radiosenders soll nun die Vorgangsweise bei der Übertragung von Audiosignalen grundlegend veranschaulicht werden. (Abbildung 3.4) ⁶

⁶ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.30

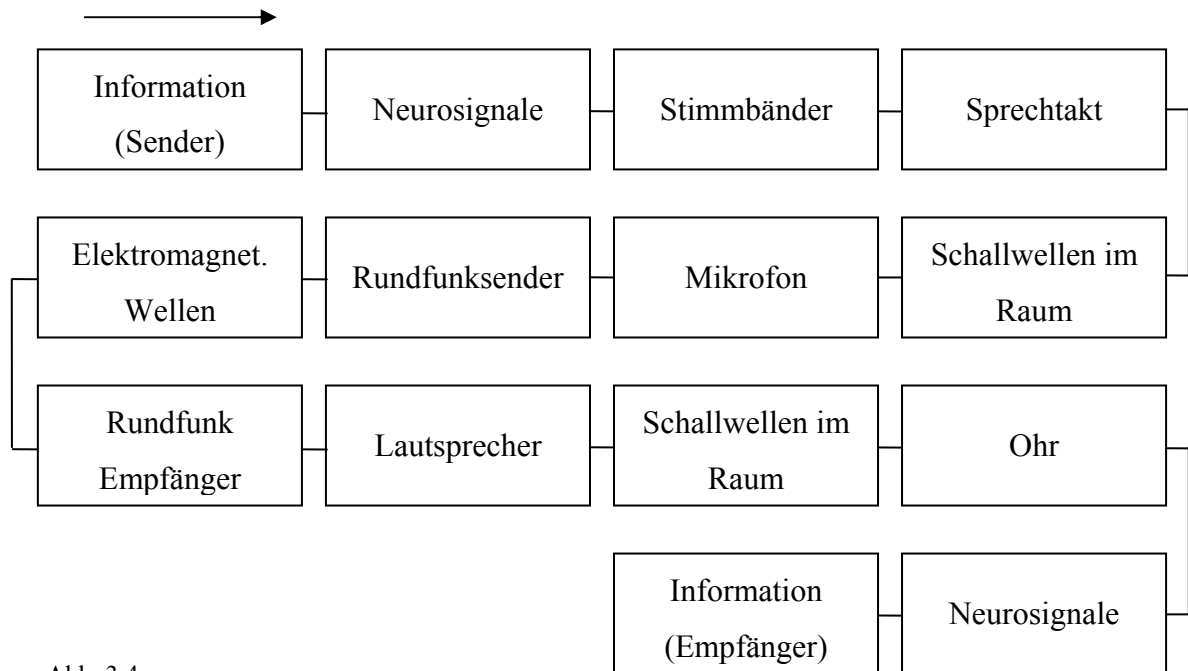


Abb. 3.4

4.3.2 Signalformen und Darstellungsmöglichkeiten

Da nicht jedes akustische Ereignis gleich klingt, und auch zwischen dem Geräusch einer Dampfwalze und einer Violine, sowohl beim Zuhörer, als auch audiotekhnisch gesehen Welten liegen, können akustische Geräusche in 2 große Gruppen eingeteilt werden.

In Klänge und Geräusche, sowie daraus resultierend in harmonische und komplexe Töne bzw. Klänge.

4.3.2.1 Klänge und Geräusche

Bei Klängen gilt, dass ihr Signal periodische Formen aufweist, was heißen soll, dass Klänge zumindest annähernd regelmäßig sich mehr oder weniger gleichförmig wiederholen. Daher gilt für periodische bzw. quasiperiodische Signale definitionsgemäß, wobei die Zeitdauer T wie schon erwähnt als Periodendauer bzw. als Periode der Schwingung des Signals bezeichnet wird.

$$s(t) = s(t + T)$$

Im Gegensatz dazu wirken Geräusche in ihrer Signalform visuell als ungeordnet, willkürlich und chaotisch, wodurch diese Form eines akustischen Ereignisses auch als aperiodische Signalform bezeichnet wird. Somit kann für Geräusche bzw. aperiodische Signale definitionsgemäß keine Periodendauer und/oder Grundfrequenz bestimmt werden.

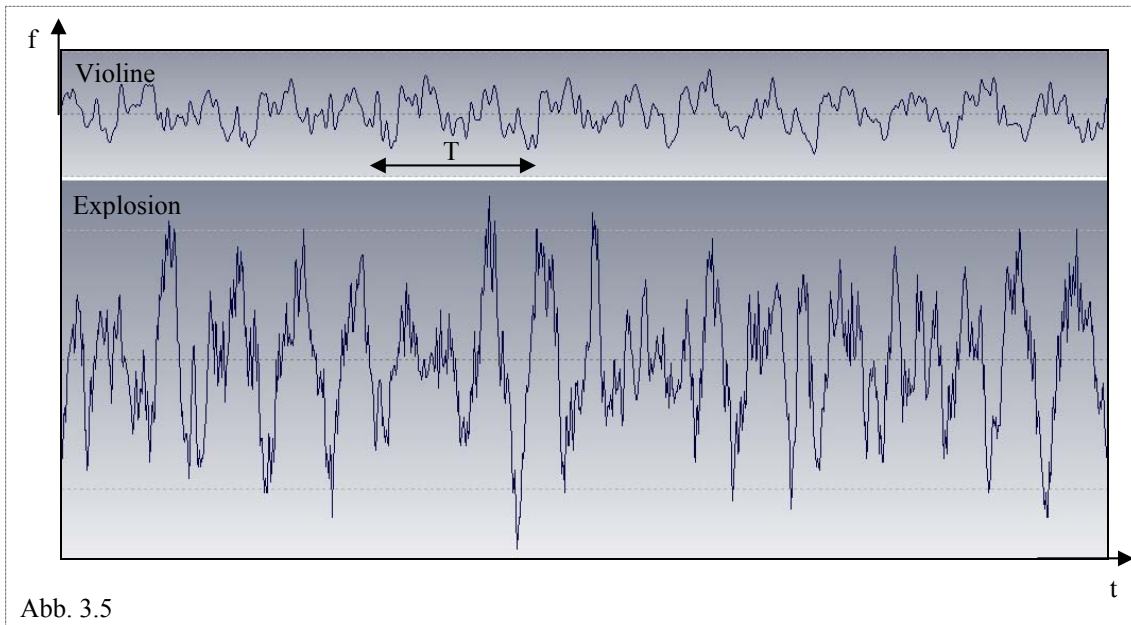


Abb. 3.5

Abbildung 3.5 zeigt die Signalform zweier gänzlich unterschiedlicher akustischer Ereignisse.

Die erste Signalform repräsentiert ein Solo einer Violine aus den „Vier Jahreszeiten“ von Vivaldi. Man erkennt die quasiperiodische Signalform, die auch durch die beiden Pfeile gekennzeichnet ist.

Im Gegensatz dazu präsentiert sich die Signalkurve einer Explosion, so wie es die zweite Grafik veranschaulicht, als chaotisch und ungeordnet, in der keine periodischen Erscheinungen im Verlauf der Kurve auftreten, und somit wie bereits erwähnt keine Möglichkeit zur Feststellung der Periodendauer (T) besteht.

4.3.2.2 Harmonische Töne

Von einem harmonischen Ton wird dann gesprochen, wenn das Signal durch die Winkelfunktionen Sinus und Kosinus beschrieben werden kann. Daher ist ein harmonischer Ton immer periodisch. Obwohl diese Art von Ton in der Natur eher selten

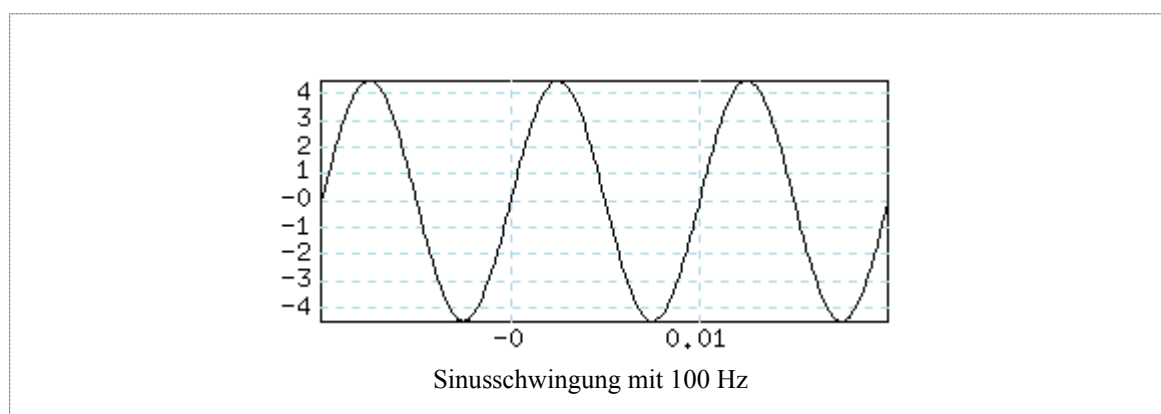
vorkommt, haben sie dennoch eine fundamentale und wichtige Bedeutung in der Audiotechnik, da sie als Grundbausteine für jede beliebige andere Signalform herangezogen werden können.⁷

4.3.2.3 Komplexe Töne – Klänge

Wie bereits erwähnt, lassen sich harmonische Töne als Grundbaustein für die Erschaffung von anderen, komplexeren Signalformen verwenden. Die Grundidee hierbei besteht darin, ein komplexes Signal als eine Ansammlung harmonischer Teiltöne zu sehen, deren Frequenz das ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz des Signals ist. Der französische Mathematiker beschrieb einen solchen komplexen Ton wie folgt.

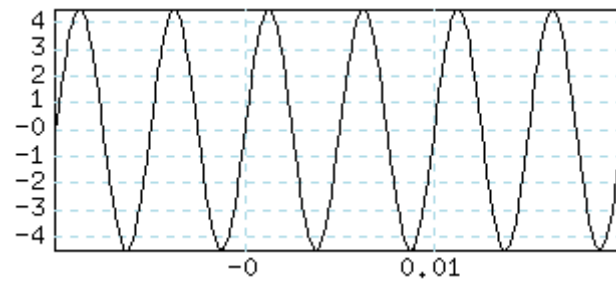
$$S(t)_{\text{HKT}} = \sum_{n=1}^{\infty} S_n * \sin(2 * \pi * n * f * t + \varphi_n)$$

Folgendes Beispiel soll die Überlagerung von harmonischen Signalen grafisch darstellen. Der nachfolgend dargestellte Klang mit einer Grundfrequenz von 100 Hz ist aus drei harmonischen Sinusschwingungen mit 100, 200 und 300 Hz zusammengesetzt. Im Spektrum (der Einfachheit halber ist hier nur das Amplitudenspektrum dargestellt) sieht man die entsprechenden Amplitudenwerte bei den Vielfachen der Grundfrequenz. Offensichtlich ist der Verlauf des Klangs periodisch mit der Grundfrequenz von 100 Hz.⁸ (Abbildung 3.5)

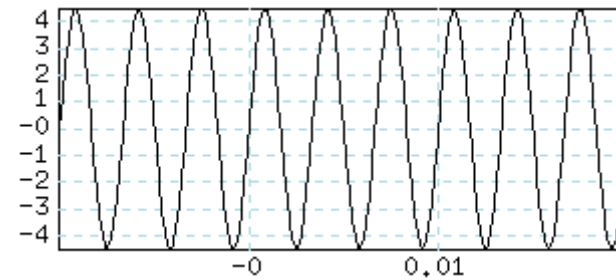


⁷ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.34 ff

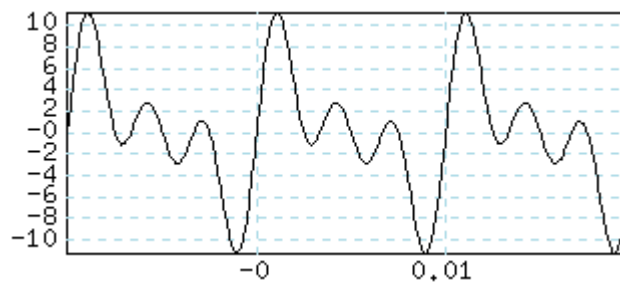
⁸ vgl. <http://www.phonetik.uni-muenchen.de/AP/APKap1.html>



Sinusschwingung mit 200 Hz



Sinusschwingung mit 300 Hz



Resultierende Signalform

Abb. 3.5

4.3.2.4 Spektrum periodischer Signale

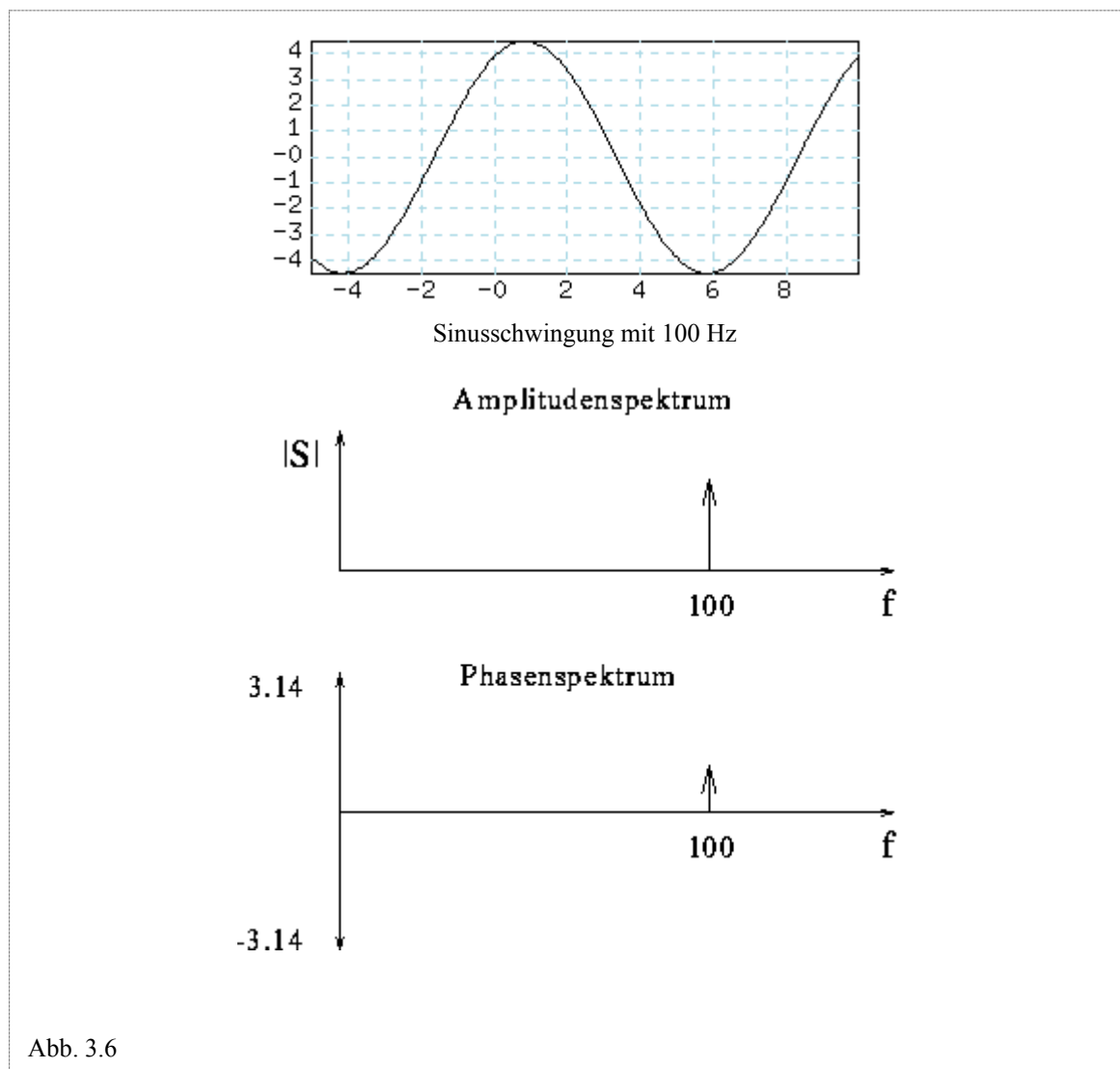
Unter dem Spektrum eines Signals oder Schalls versteht man ganz allgemein eine Beschreibung der Frequenzanteile des Signals. Die Voraussetzung dafür ist, wie im letzten Kapitel besprochen, dass man die Schwingung als aus vielen einzelnen, additiv überlagerten Sinusschwingungen verschiedener Frequenz, Amplitude und Phase betrachten kann.

Somit ergeben sich also zwei grundsätzlich unterschiedliche Bereiche, in denen man Zeitsignale darstellen kann: den Zeitbereich und den Frequenzbereich.

Für die Analyse bedeutet dies, dass ein beliebiges periodisches Signal in eine Überlagerung von mehreren (evtl. unendlich vielen) Sinusschwingungen zerlegt werden kann.

Für die Synthese bedeutet dies umgekehrt, dass jede beliebige, periodische Schwingung aus einer geeigneten Überlagerung mittels Addition (Mischen) erzeugt werden kann.

Ein solches System, in dem also komplexe Schwingungen durch additive Überlagerung von einfachen Schwingungen dargestellt werden dürfen, nennt man lineares System.⁹



Eine Sinusschwingung mit Amplitude 4,5, Phase $\pi/3$ und Frequenz 100 Hz lässt sich durch die genannten Parameter vollständig beschreiben. Daher genügt in der *spektralen*

⁹ vgl. <http://www.phonetik.uni-muenchen.de/AP/APKap1.html>

Darstellung ein einziger Wert im Amplituden- und Phasenspektrum bei der Frequenz 100 Hz. (Abbildung 3.6)

4.3.2.5 Spektrum aperiodischer Signale

Ein aperiodisches Signal kann ebenfalls ein Spektrum haben, die Linien liegen dann aber nicht auf ganzzahligen Vielfachen einer Grundfrequenz. Die Periodendauern der beteiligten Sinustöne dürfen daher in keinem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen, es muss sich also um irrationale Zahlen (keine glatten Brüche) handeln.

Ein Beispiel hierfür wäre die folgende Schwingung, die aus drei Sinusschwingungen mit 100 Hz Wurzel aus 27555 Hz und Wurzel aus 29583 Hz synthetisiert worden ist.¹⁰

(Abbildung 3.7)

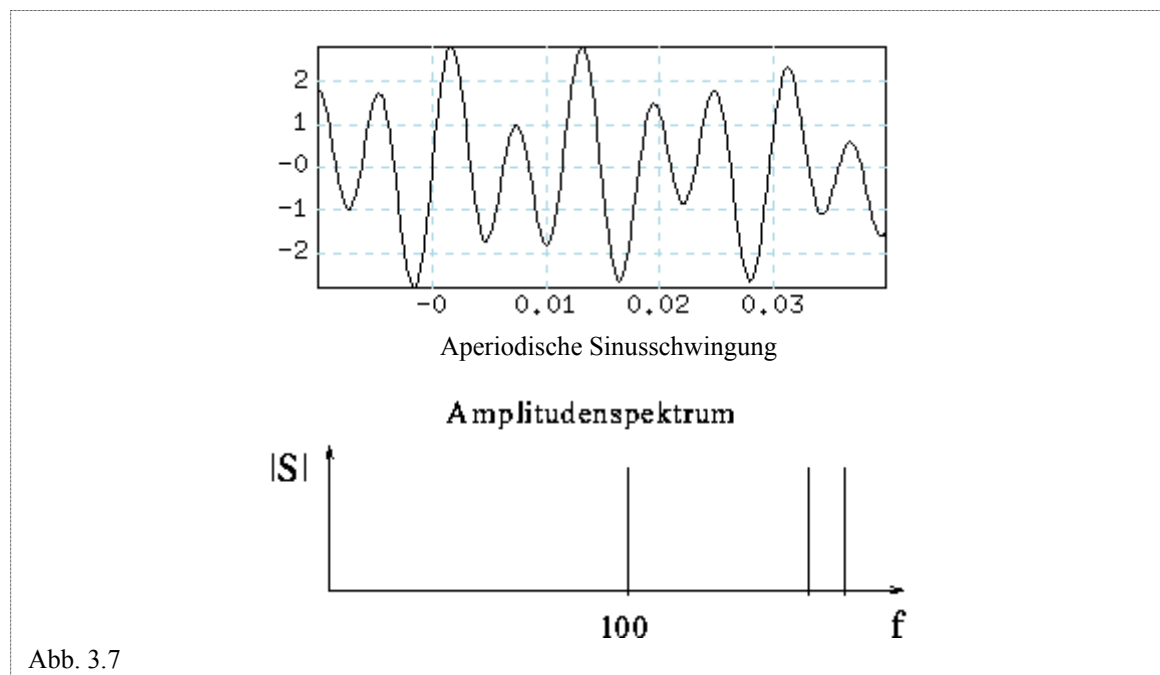


Abb. 3.7

4.3.3 Der Frequenzbereich

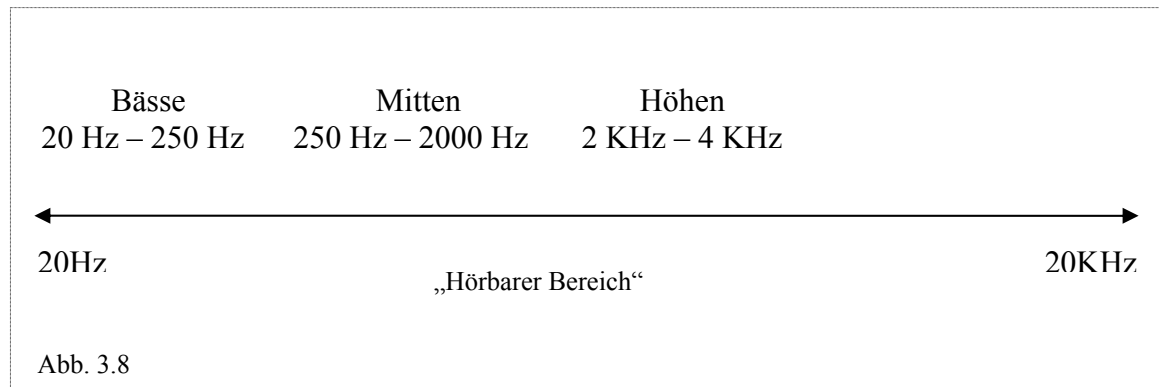
Wie bereits in vorherigen Kapiteln erwähnt, reicht der Frequenzbereich des theoretisch hörbaren bzw. wahrnehmbaren Bereiches von 20Hz bis 20KHz.

¹⁰ vgl. <http://www.phonetik.uni-muenchen.de/AP/APKap1.html>

Frequenzen zwischen 20Hz und 250Hz werden auch als „Bässe“, Frequenzen zwischen 250Hz und 2000Hz als „Mitten“ bezeichnet, und die so genannten „Höhen“ reichen von 2KHz bis 4KHz.

Die Tonhöhen bzw. die Grundfrequenzen gebräuchlicher Musikinstrumente fallen in einen Grundfrequenzbereich von etwa 25 bis zu 3500 Hertz.

Grafisch lässt sich diese grobe Gliederung folgendermaßen darstellen. (Abbildung 3.8)



Klangfarben akustischer Ereignisse können zwar mit Adjektiven wie hohl, schrill warm oder dumpf beschrieben werden, doch gelingt eine Zuordnung zu messbaren Parametern nur bedingt, was auch daran liegt, dass jeder Rezipient eine andere Wahrnehmung, akustische Ereignisse betreffend, hat, und somit nicht genau mathematisch festgelegt werden kann, was nun „wirklich“ hohl oder dumpf klingt. Doch mehr zu diesem Thema im Kapitel „Wahrnehmung“.

4.3.4 Zeitlicher Verlauf von Schallsignalen

Bei der Untersuchung von Schallsignalen spielen zumindest drei unterschiedliche Zeitbereiche eine tragende Rolle. Der Mikroskopische Bereich, der Zeitbereich der Transienten und der makroskopische Zeitbereich. (Abbildung 3.9)

Der Mikroskopische Bereich umfasst jenen zeitlichen Bereich, in dem sich Druckschwankungen bemerkbar machen. Zur grafischen Darstellung ist hierbei die Spektralansicht besser geeignet als ein zeitlicher Verlauf, da dieser sehr klein ist, genauer verzeichnet reicht jener von 0,05ms bis 50ms.

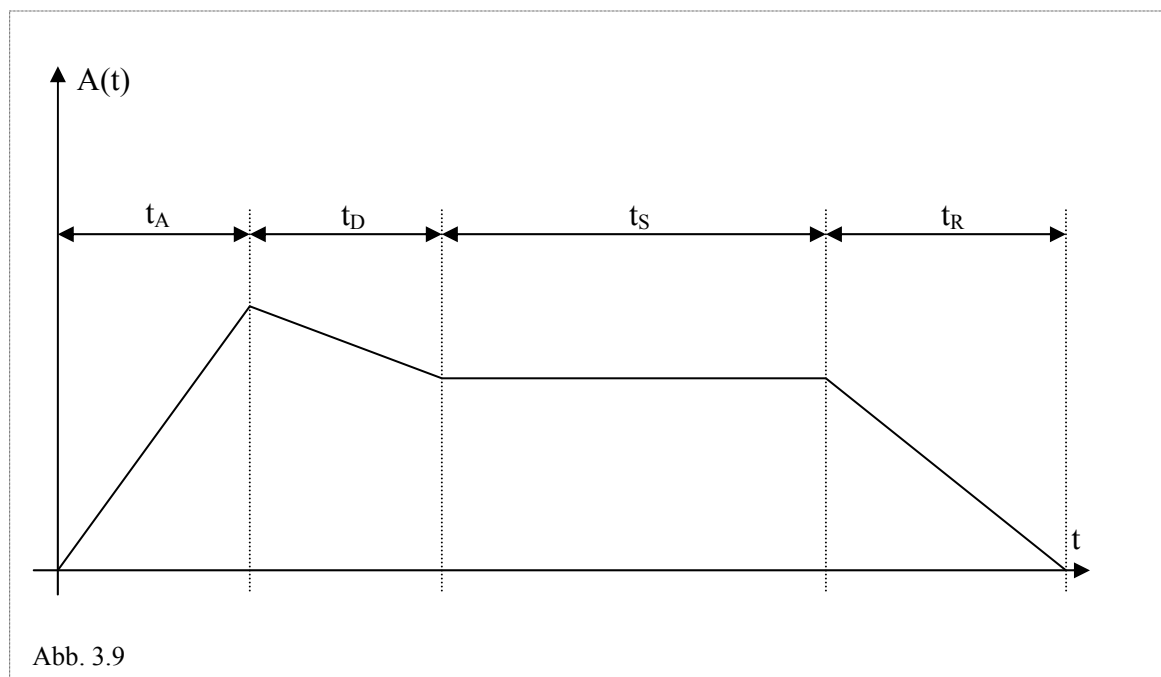
Im Zeitbereich der Transienten finden Schallereignisse wie das Einschwingen von Musikinstrumenten statt, also bis zum Erreichen der maximalen Amplitude. Dieser Zeitbereich liegt zwischen 50ms und 150ms.

Der Makroskopische Zeitbereich kann von einem kurzen Klang bis zur kompletten mehrstündigen Dauer einer gesamten Oper dauern und ist daher dementsprechend unendlich groß bemessen. ($t > 150\text{ms}$)

Aus diesen drei Zeitbereichen lässt sich die so genannte ADSR Hüllkurve bilden, wobei ADSR für Attack, Decay, Sustain und Release steht.

Diese Hüllkurve ist deswegen wichtig, da sie einen Teil, bzw. auch ein ganzes akustisches Ereignis in ihrer Dynamik, repräsentiert und in der Postproduktion von Audioproduktionen die einzelnen Teile durch diverse Filter bearbeitet werden können und somit das Ergebnis stark verbessert werden kann.

Die ADSR Kurve lässt sich grafisch folgendermaßen darstellen. (Abbildung 3.9)¹¹



Als in der Grafik als t_A bezeichneten Bereich finden wir die „Einschwingphase“ in der z.B.: die Saite einer Gitarre angezupft wird und 50 bis 150 ms (Zeitbereich der Transienten) verstreichen, bis die volle Amplitude erreicht wird. Gefolgt von der „Decay Time“ (t_D) erfolgt eine Abnahme der Eigenschwingung, wobei z.B. bei einmaligem Anzupfen einer Gitarrensaite das Schallereignis hier enden würde. Bei Streich oder

¹¹ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.42

Blasinstrumenten bei denen die Schwingung durch kontinuierliche Zuführung von Energie aufrechterhalten wird, wird diese Dauer des akustischen Ereignisses als „Sustain Time“ (t_s) bezeichnet. Die externe Anregung des Klages spielt in dieser Phase eine bedeutende und wichtige Rolle.

Nach Beendigung der externen Anregung folgt das Ausklingen des Schallsignals, das als „Release Time“ (t_R) bezeichnet wird. Diese Phase des Klages wird dabei einerseits durch die Dämpfung des Schwingungssystems, andererseits durch die Nachhallzeit des Raumes bestimmt.

4.4 Systeme

Als System werden in der Audiotechnik ganz allgemein alle einzelnen Teilketten einer akustischen Kommunikationskette bezeichnet. Also z.B. Mikrophon, Lautsprecher oder Mischpult.

4.4.1 Verzerrungen und Klirrfaktor

Verzerrungen sind Abweichungen des Signals von seiner ursprünglichen Form nach der Umwandlung in einem System. Man unterscheidet dabei in lineare und nichtlineare Verzerrungen. Kann der Fehler, also die Verzerrung mit entsprechenden Korrektursystemen wieder rückgängig gemacht werden, so spricht man von einer linearen Verzerrung, wenn dieser nicht mehr umkehrbar ist, von einer nichtlinearen.

Nichtlineare Verzerrungen sind nicht mehr korrigierbar, da diese charakteristischerweise neue Teiltöne aufweisen und das ursprüngliche Signal dadurch nicht mehr erkennbar ist. Anders bei linearen Verzerrungen, hier findet zwar meist eine Veränderung in der Amplitude bzw. in der Amplitude der Teiltöne statt, doch sind diese, wie bereits erwähnt, mit Hilfe eines nachgeschalteten Korrektursystems wieder rückgängig zu machen. Diese irreversible Abweichung des Ausgangs- vom Eingangssignal wird auch als Klirrfaktor (engl. Total Harmonic Distortion, THD) bezeichnet und wird in Prozent angegeben. Für professionelle Aufnahmegeräte sollte der Klirrfaktor unter 0,005% betragen.

4.4.2 Filter

Systeme mit genau definierten, einstellbaren Frequenzgängen werden auch als Filter bezeichnet. Um Spektren von Schall ganz gezielt zu beeinflussen, sind daher Filter ein unerlässliches Werkzeug bei der Arbeit mit Sound und Ton.

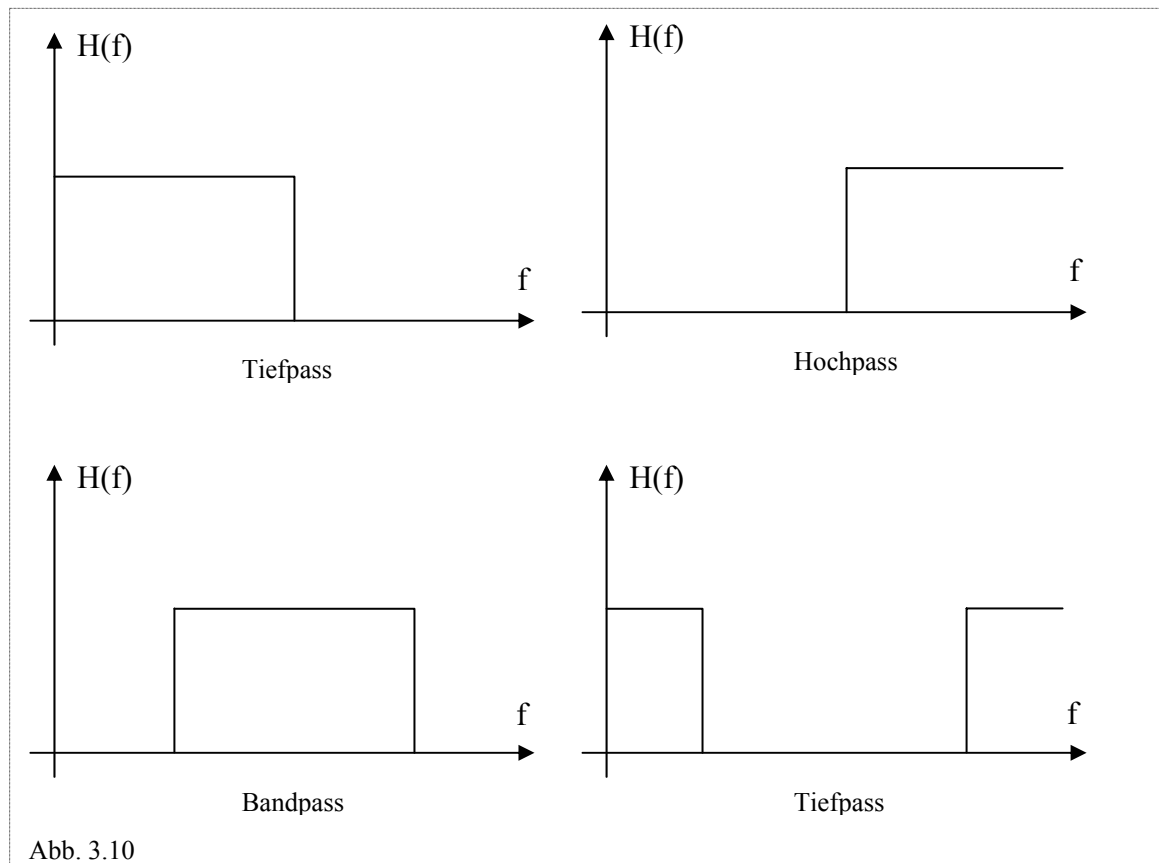


Abb. 3.10

Abbildung 3.10 zeigt einen Hoch-, Tief- und Bandpass bzw. eine Bandsperre. Mit jenen vier Filtern können die Grundtypen von Filtern unterschieden werden.

So eliminiert ein Hochpass alle Frequenzen über der Grenzfrequenz, ein Tiefpass alle unterhalb der angegebenen Grenzfrequenz. Ein Bandpass lässt den Frequenzbereich zwischen oberer und unterer Grenzfrequenz unbeeinflusst, eine Bandsperre dämpft hingegen genau diesen Bereich.

Reihen sich mehrere Durchlass- und Sperrbereiche aneinander, so spricht man von einem Kammfilter.¹²

¹² vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.48

4.5 Schallausbreitung

Wie bereits erwähnt benötigt Schall zur Ausbreitung immer ein elastisches Medium, welches die Energie durch Moleküle weitergibt, wie es z.B. in der Luft durch Luftmoleküle passiert, und, wie bereits mehrfach erwähnt, liegt der Frequenzbereich des menschlichen Gehöres zwischen 20Hz und 20KHz. Über das Verhältnis $\lambda = v / f$ kann nun auch die Wellenlänge eines Schallsignals ermittelt werden. Diese kann bei tieffrequenten Schallereignissen bis zu 17m betragen, bei hochfrequenten hingegen nur mehr bis zu 1,7cm. Daher ist es auch leicht zu verstehen, dass z.B. bei Konzerten oder Festivals, auf denen basslastige Musik gespielt wird, wie es z.B. bei Drum n' Bass der Fall ist, die tieffrequenten Schallwellen in der Magengegend quasi gespürt werden können. Allgemein folgt die Schallausbreitung den allgemein gültigen Gesetzen der Wellenausbreitung. Ein Unterschied ergibt sich lediglich auf Grund anderer Größenordnungen von Frequenz, Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit.¹³ Schall kann sich umso besser ausbreiten, je dichter das Medium ist, in dem es sich befindet. So kann man beispielsweise unter Wasser Schallereignisse viel besser wahrnehmen, die im Gegensatz dazu über Wasser kaum zu hören wären, jedoch ist es dafür schwieriger, die Richtung bzw. Herkunft des eintreffenden Signals zu ermitteln. Jeder, der schon einmal tauchen oder Schnorcheln war, wird diese Erfahrung teilen können.

Medium	Schallgeschwindigkeit (bei 20°C)
Luft	343 m/s
Wasser	1480 m/s
Gummi	50 m/s
Holz	3300 – 3400 m/s
Aluminium	5100 m/s

Tab. 3.2

¹³ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.67

Tabelle 3.2 zeigt die unterschiedlichen Medien mit ihrer jeweiligen Schallausbreitungsgeschwindigkeit bei 20°C.

4.5.1 Hörschwelle und Schmerzgrenze

Es stellt sich nun natürlich die Frage, mit welcher Intensität sich Schall ausbreitet bzw. ausbreiten kann. Hierfür wurden zwei Grenzwerte definiert, die Hörschwelle und die Schmerzgrenze.

Die Hörschwelle ist jener Wert, bei dem in einem völlig ruhigen Raum gerade noch ein Hörempfinden verspürt bzw. beim Rezipienten ausgelöst wird. Diese so genannte Hörschwelle liegt bei 10^{-12} W/m^2 (Schallintensität = Watt pro Quadratmeter)

Die zweite definierte Grenze ist die Schmerzgrenze. Sie liegt bei etwa 1 W/m^2 oder $120\text{dB}_{\text{SPL}}$ und definiert den Schallintensitätswert, ab dem ein Mensch normalerweise Schmerzen verspüren würde. Selbstverständlich ist dieser Wert ein rein statistischer und subjektiver Wert.

Tabelle 3.3 ¹⁴ bietet einen guten Einblick darüber, wie laut, mathematisch gesehen, bekannte akustische Ereignisse in unseren Umwelt sind.

Schallquelle	Schallleistung P_{Quelle} (Watt)
Sprache (Unterhaltung)	$10^{-6} \dots 10^{-5}$
(menschlicher) Schrei	$10^{-3} \dots 10^{-2}$
Geige (fff)	10^{-3}
Orgel, Pauken (fff)	10
Orchester	70
Alarmsirene	1000
Raketen	bis 10^8

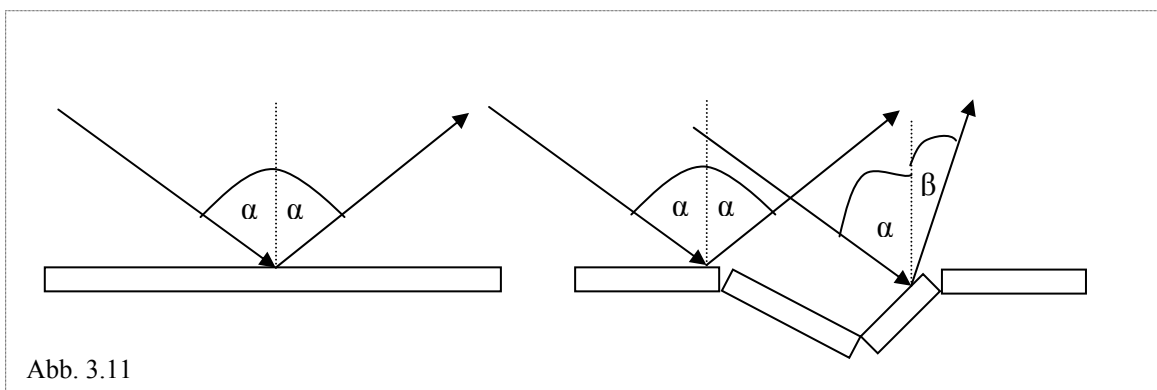
Tab. 3.3

¹⁴ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.71

Die maximale Lautstärke, die theoretisch erreichbar wäre, würde bei 194db_{SPL} liegen und würde dann auftreten, wenn in den Minima der Schalldichte keine Luftmoleküle mehr anzutreffen wären. Dieser Wert ist jedoch nur theoretischer Natur, praktisch nicht erreichbar, und die daraus resultierende Schallwelle würde einen Ort der Verwüstung zurücklassen.

4.5.2 Reflexion

Da Schallwellen den Gesetzen der Wellenausbreitung unterliegen gilt auch für Schallwellen das Reflexionsgesetz nach Snellius Einfallswinkel = Ausfallswinkel. Dies gilt natürlich nur bei glatten Oberflächen, bei rauen Flächen kommt es zu diffusen Reflexionen die Anhand von Abbildung 3.11 illustriert werden.



4.5.3 Absorption, Dissipation und Transmission

Drei weitere wichtige physikalische Phänomene die auftreten können, wenn Schall auf ein Objekt stößt, sind Absorption, Dissipation und Transmission.

Werden Teile des Schalls, die auf ein Objekt auftreffen, aufgenommen, so spricht man logischerweise von Absorption, wobei die Größe der absorbierten Schallanteile durch den Absorptionsgrad, welcher wiederum von Schallwellenlänge bzw. Frequenz abhängig ist, bestimmt wird.

Dissipation beschreibt die Umwandlung von aufgenommener Schallenergie in Wärme, die durch Reibung entsteht und durch den Dissipationsgrad angegeben wird. Die restliche

Schallenergie wird dann im anderen Medium weitergeleitet, was als Transmission bezeichnet wird.

4.5.4 Beugung

Ein interessantes Phänomen ist, dass, wenn man an eine Lichtquelle denkt, die in einem Raum steht und z.B. eine Wand beleuchtet, Objekte, die zwischen Lichtquelle und Wand stehen, an der Wand einen Schatten werfen. Stellt man sich jetzt statt der Lichtquelle eine akustische Quelle wie einen Lautsprecher vor, und man begibt sich nun hinter dasselbe im Weg stehende Objekt, wird man trotzdem den Lautsprecher hören, und nicht im „Schatten“ der Schallwellen stehen, obwohl Licht als auch Schall den gleichen allgemeinen Gesetzen der Wellenausbreitung unterliegen.

Des Rätsels Lösung besteht darin, dass ein Hindernis nur dann zu einem Hindernis für eine Welle wird, wenn sein Durchmesser in der Größenordnung der Wellenlänge liegt. Trifft eine Welle hingegen auf einen Gegenstand, der kleiner als ihre Wellenlänge ist, so beugt sich die Welle um diesen herum, und es bildet sich kein „Schatten“.

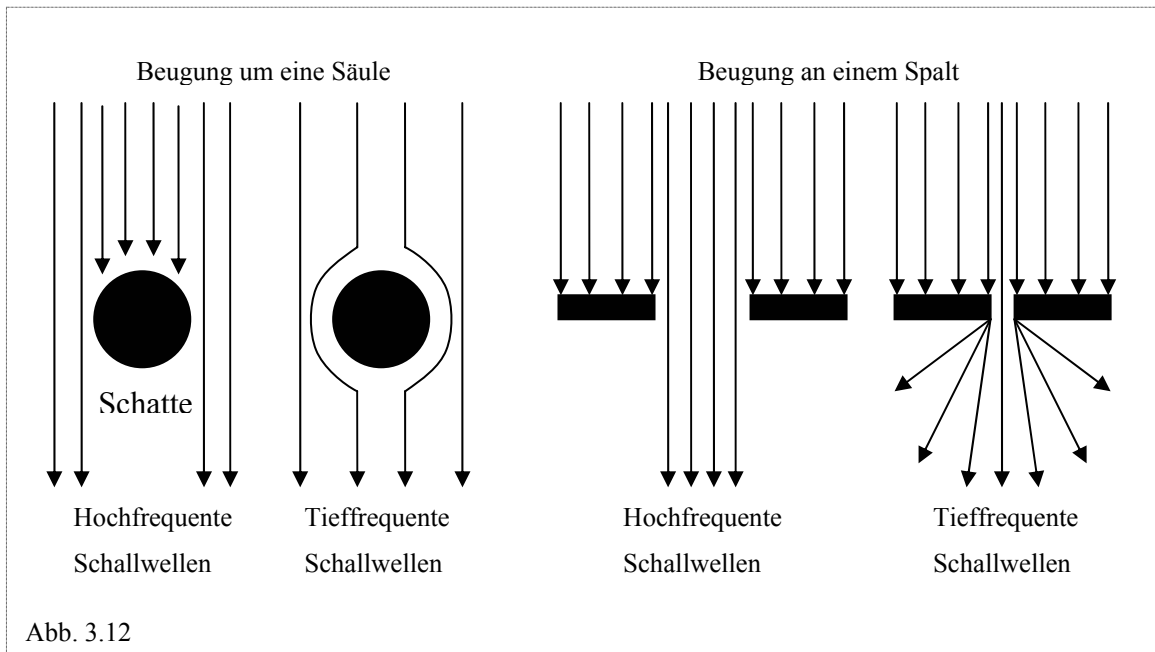
Da Licht eine sehr kurzwellige Welle darstellt, bildet sich daher bei jedem Objekt, das Licht im Wege steht, ein Schatten.

Anders bei Schallwellen. Wie wir schon in einem vorherigen Kapitel gehört haben, kann die Länge einer Schallwelle bis zu 17m betragen, und es ist daher deutlich leichter, für ein breites Spektrum von Schallwellen, sich um alltägliche Gegenstände zu beugen, als es für Lichtwellen der Fall ist.

Natürlich muss hinzugefügt werden, dass z.B. in einer Kirche hinter einer Säule das Schallerlebnis ein anderes sein wird als wenn freie Sicht zur akustischen Quelle besteht, da sich hochfrequente Schallwellen nicht um die Säule beugen können und dadurch, wenn auch nicht vielleicht bewusst wahrgenommen, sich das ankommende Schallerlebnis vom Originalschall doch unterscheiden wird. Ebenso kann natürlich auch das Gegenteil passieren und tieffrequente Schallwellen diffus abstrahlen, wenn man z.B. zwischen zwei eng zusammenstehenden Säulen steht.

Anhand von Abbildung 3.12¹⁵ sollen diese beiden wichtigen Phänomene veranschaulicht werden.

¹⁵ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.76



4.5.5 Direktschall, Erstreflexion und Nachhall

Zuerst soll einmal die Frage beantwortet werden, was Direktschall überhaupt ist.

Als Direktschall wird die Wellenfront des Schalls bezeichnet, der als erstes und ohne Umwege beim Rezipienten ankommt

Aus der zeitlichen VerzögerungTM zwischen dem akustischen Ereignisses, also der Aktion, die das Hörerlebnis produziert, und dem Eintreffen des Direktschalls beim Hörer, kann mit Hilfe der Schallgeschwindigkeit v der Abstand a zwischen Quelle und Hörer mit der Formel $a = v * t^{TM}$ ermittelt werden.¹⁶

Das beste und praxisbezogenste Beispiel für die Berechnung der Distanz zwischen Schallereignis und Hörer wäre die bekannte Regel, dass wenn zwischen Blitz und Donner 3 Sekunden verstreichen, man etwa 1 Kilometer vom Zentrum des Gewitters entfernt ist. Nach dem Direktschall nimmt ein Zuhörer normalerweise die Erstreflexionen wahr. Erstreflexionen sind Schallwellen, die an den Wänden oder an Decke und Boden reflektiert wurden und somit später als der Direktschall beim Rezipienten eintreffen. Die zeitliche Verzögerung die hierbei normalerweise auftritt, schwankt zwischen 30ms und 40ms. (Um zwei aufeinander folgende Schallereignisse getrennt wahrnehmen zu können,

¹⁶ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S. 76

müssen sie in einem Abstand von mindestens 50ms voneinander beim Hörer auftreffen). Daher wirken Direktschall und Erstreflexionen meist als einheitliches akustisches Ereignis. In großen Räumen oder Gebäuden, so wie es z.B. bei einer Kirche der Fall ist, wirken die Erstreflexionen als Echo, da diese länger als 50ms zum Hörer benötigen, und somit über dem Grenzwert liegen.

Waren die Erstreflexionen in ihrer Energie durch die Reflexionen an unterschiedlichen Objekten bereits etwas in ihrer Energie abgeschwächt, so folgen nach ihnen die sehr stark abgeschwächten Wellenfronten, die durch mehrfache Rückwürfe erst sehr spät beim Hörer eintreffen. Diese Wellenfronten werden auch als Nachhall bezeichnet und bilden durch ihre hohe Anzahl ein einheitliches, mit der Zeit verklingendes Schallereignis. Diese drei physikalischen sowie alle anderen besprochenen Phänomene der Audiotechnik prägen jeden Raum, sei er noch so groß oder klein, einzigartig in seiner Akustik, und da das Ohr dieselbe bzw. in einer anderen Form gehaltene Information über die Umgebung empfangen möchte wie das Auge, stellt diese Erkenntnis resultierend daraus natürlich auch eine besondere Herausforderung an den oder die Sounddesigner von Videospielen.

5. Wahrnehmung

Nachdem nun einige physikalische Grundlagen der Audiotechnik, die in Bezug auf Sounddesign bei Videospielen relevant sind, besprochen wurden, widmet sich das folgende Kapitel dem Zuhörer selber.

Um eine akustische Kulisse wirkungsvoll erschaffen zu können, reicht es nämlich nicht aus, nur technisches Wissen über Ton und Klang zu besitzen, sondern man muss auch verstehen können, was diese akustischen Ereignisse beim Rezipienten, in unserem Fall dem Konsumenten von Videospielen, auslösen bzw. auslösen können.

Um zum Beispiel des Fußballstadions oder der Kirche zurückzukommen, so haben wir nun bereits eine Vorstellung darüber, wie Schall entsteht, und wie er sich in einer solchen Umgebung ausbreiten kann. Wir wissen, dass Schall durch die Schwingung von unterschiedlichsten Materialien in unserer Umwelt entsteht, dieser sich dann durch Druckschwankungen in einem elastischen Medium wie Luft oder Wasser fortbewegt, eventuell in seiner Energieform zur Übertragung verändert wird, und schließlich nach erneuter Rückwandlung schlussendlich beim Zuhörer auftrifft. Was wir jedoch noch nicht wissen, ist, wie der menschliche Organismus Schallwellen aufnimmt und interpretiert, und wie diese dann das Handeln, Denken oder Gefühlsleben des jeweiligen Rezipienten beeinflussen können. Diese psychologischen Phänomene werden unter dem Begriff der „Psychoakustik“ untersucht, und da die Wirkung von akustischen Ereignissen logischerweise einen sehr wichtigen und hohe Stellenwert im Sounddesign von Computerspielen einnimmt, wird in diesem Kapitel darauf auch näher eingegangen.

5.1 Anatomie des menschlichen Hörorgans

Das Gehörssystem des Menschen umfasst das äußere Ohr, das Mittelohr und das Innenohr, die Hörbahnen sowie die im Großhirn und im Stammhirn liegenden auditiven Reizverarbeitungszentren. Insgesamt handelt es sich um ein äußerst kompliziertes und zugleich hochpräzises System, welches in Aufbau und Wirkungsweise derart komplex ist, dass es der Forschung bis heute noch nicht gelungen ist, alle wichtigen Funktionen vollständig bis ins Detail zu ergründen und erklärbar zu machen.¹⁷

Allgemein gesagt besteht die Hauptaufgabe des Hörorgans darin, Schallwellen aus der Luft aufzunehmen, in elektrische Impulse umzuwandeln und an das Hörzentrum im Gehirn, wo schließlich die Interpretation des Gehörten stattfindet, weiterzuleiten.

5.1.1 Das Außenohr

Das Außenohr besteht aus Ohrmuschel und Gehörgang und endet am Trommelfell. Das Trommelfell ist eine dünne Membran, die aus feinfasrigem Gewebe besteht und durch Druck- und Dichteschwankungen in der Luft zur Schwingung gebracht wird. Darüber hinaus verstärkt die trichterähnliche Form des Außenohrs noch zusätzlich ankommende Schallwellen. (Abbildung 4.1)¹⁸

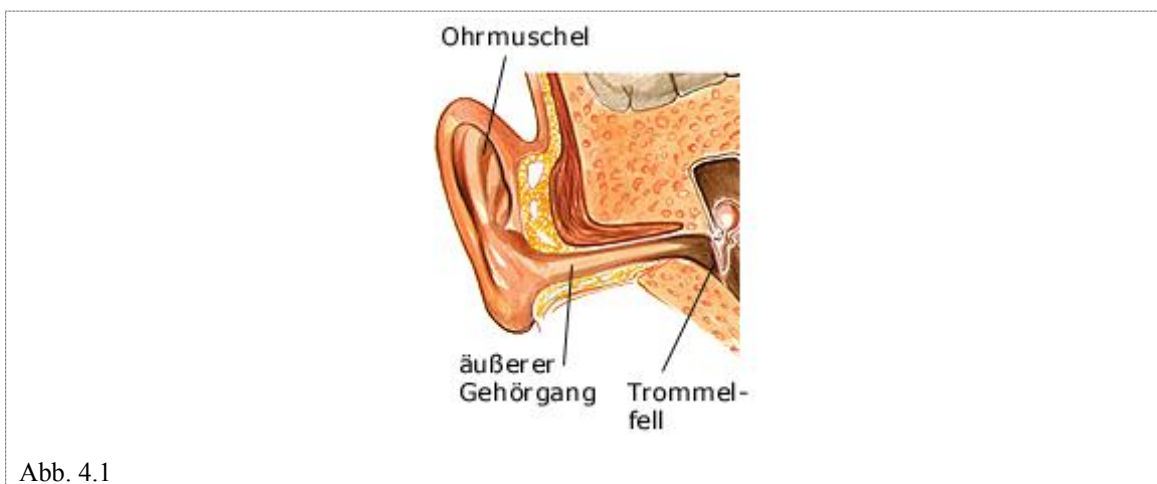


Abb. 4.1

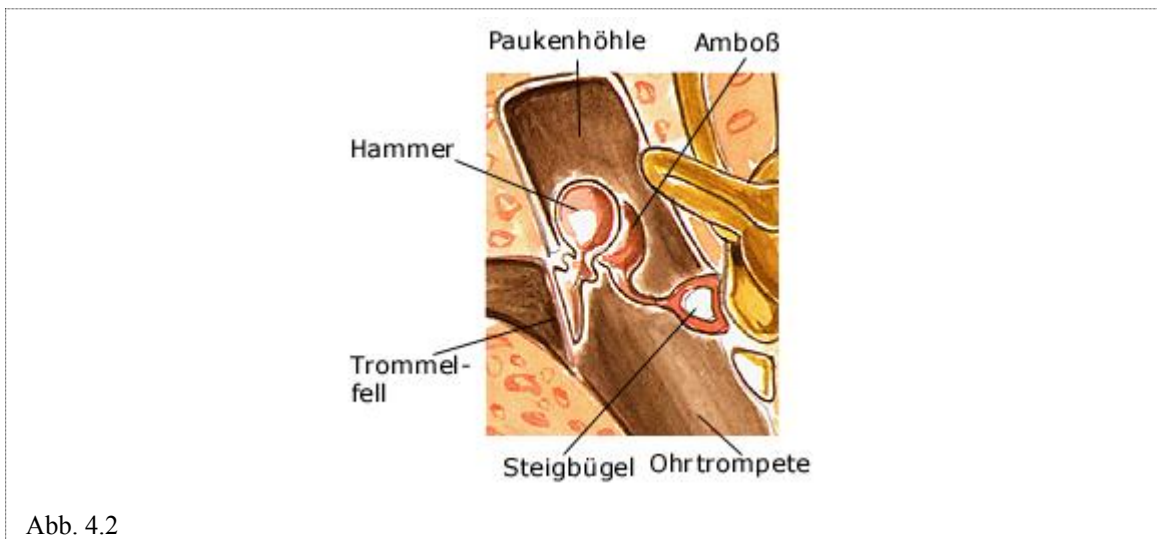
¹⁷ vgl. http://members.vol.at/flopichler/das_ohr.pdf

¹⁸ vgl. <http://www.gesundheit.de/anatomie-lexikon/sinnesorgane/aussenohr.shtml>

5.1.2 Das Mittelohr

Unmittelbar nach dem Trommelfell beginnt das Mittelohr. Dieses ist über die so genannte estachische Röhre mit der Mundhöhle verbunden, wodurch sichergestellt wird, dass im Außen- und Mittelohr der gleiche Normaldruck herrscht und dadurch das Trommelfell tatsächlich durch Druckschwankungen im Medium außerhalb des Hörorgans (z.B.: Luft) bewegt wird. Durch rasche Veränderung der Höhe kann es daher zu einem merkwürdigen Gefühl im Ohr kommen, das vor allen, bei Flügen oder bei Fahrten auf einen Berg auftritt und durch Gähnen oder Blasen in die Nase bei gleichzeitigem Zuhalten der Nasenlöcher ausgeglichen werden kann.

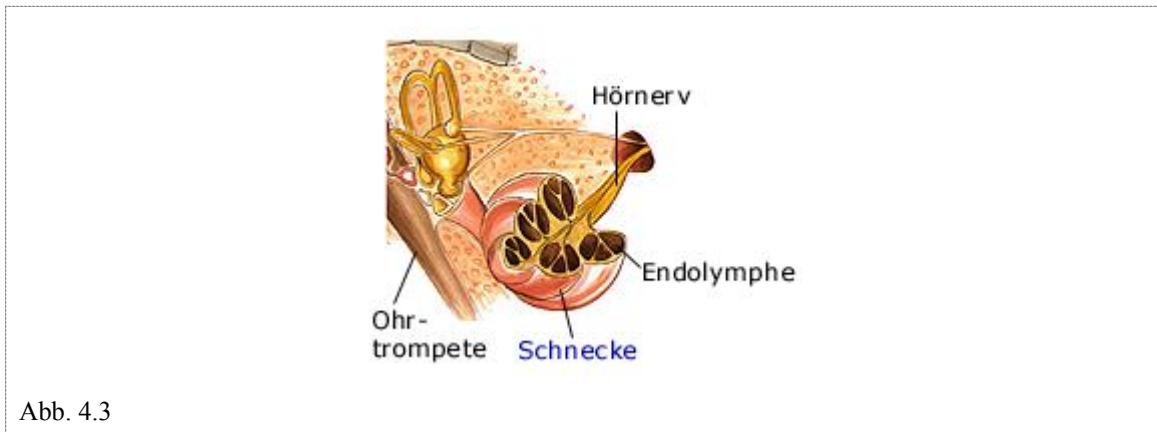
Ebenfalls im Mittelohr befinden sich die drei bekannten Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel, die als Hebelmechanismus fungieren, somit als mechanischer Verstärker wirken, und die Kraft, die durch die Auslenkung des Trommelfells entsteht, verstärken. Der Hammer ist hierbei fest mit der Innenseite des Trommelfells verbunden und eintreffende Schallwellen werden durch die Paukenhöhle über die beiden anderen Gehörknöchelchen Amboss und Steigbügel auf das so genannte ovale Fenster an der Grenze zum Innenohr weitergeleitet. (Abbildung 4.2) ¹⁹



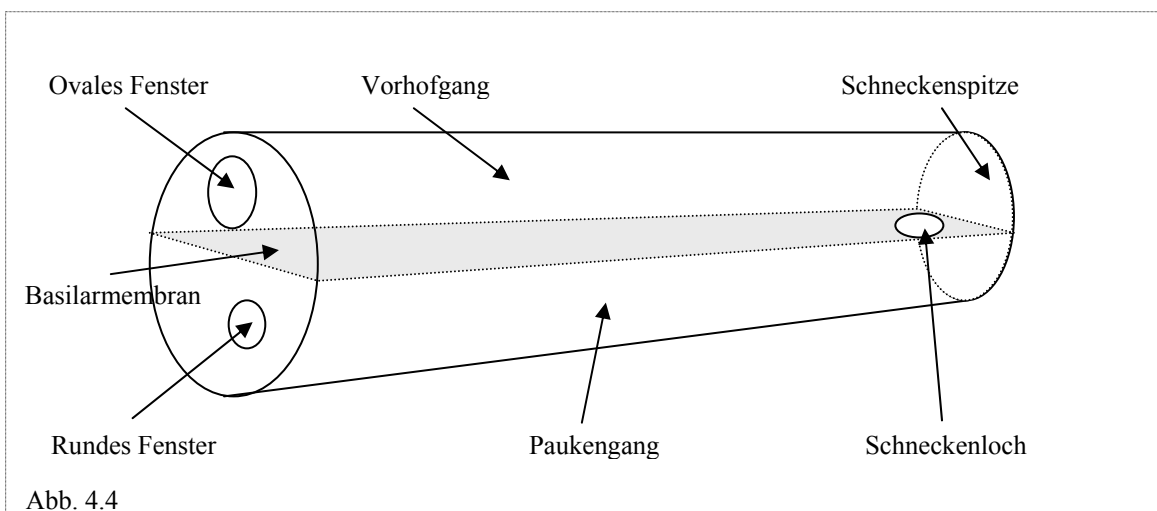
¹⁹ vgl. <http://www.gesundheit.de/anatomie-lexikon/sinnesorgane/innenohr.shtml>

5.1.3 Das Innenohr

Die Bestandteile des Innenohres gliedern sich in die Schnecke (auch Cochlea genannt) mit dem Gehörorgan, und das Gleichgewichtsorgan mit den drei Bogengängen im Vestibularapparat. (Abbildung 4.3)



Die Schnecke besteht aus zwei Gängen, die Vorhofgang und Paukengang genannt werden und getrennt einerseits vom Ovalen Fenster, andererseits vom Runden Fenster mit dem Mittelohr verbunden sind. Weiters sind die beiden Gänge durch eine Lympheflüssigkeit voneinander getrennt, wobei die untere Begrenzung des Schneckenganges auch als Basilarmembran bezeichnet wird. Über die Gehörknöchelchen werden die Schwingungen des Trommelfells auf das ovale Fenster übertragen. Durch das Auftreten von Druckdifferenzen zwischen Vorhofgang und Paukengang beginnt die Basilarmembran, ähnlich wie eine Fahne im Wind, zu schwingen. (Abbildung 4.4)



In der Basilarmembran sitzt das Corti'sche Organ, das aus über 20000 Haarzellen besteht und durch Bewegungen der Lymphflüssigkeit und der Membran somit in Schwingung versetzt werden, und die daraus resultierenden Signale an die mit ihnen verbundenen Nervenzellen weitergeleitet werden. Diese Schwingungen werden schließlich in Nervenimpulse umgewandelt.

Da sich Masse und Elastizität der Membran zur Schneckenspitze hin kontinuierlich ändern, ändern sich auch ihre Schwingungseigenschaften und somit ändert sich auch der Ort ihrer maximalen Auslenkung in Abhängigkeit von der Frequenz, und es werden dadurch jeweils unterschiedliche Haarzellengruppen bzw. Nervenzellen angeregt.²⁰

Um dieses Phänomen begreifbarer machen zu können, sollte man sich eine Reihe von einfachen Schwingungssystemen vorstellen, deren Elastizität und Massen nach und nach abnehmen. Werden nun alle Systeme mit der gleichen Frequenz angeregt, so wird jenes System mit der größten Amplitude schwingen, dessen Resonanzfrequenz am besten mit der Anregungsfrequenz übereinstimmt. Jene Systeme, deren Resonanzfrequenzen hingegen stark von der Anregungsfrequenz abweichen, werden sich kaum oder gar nicht bewegen. (Abbildung 4.5)²¹

Natürlich ist dies ein stark vereinfachtes Modell, und in Natura um ein vielfaches komplexer, doch gibt es einen verständlichen Einblick darüber, wie wir akustische Ereignisse wahrnehmen und somit z.B. in der Lage sind, verschiedene akustische Ereignisse anhand ihrer Frequenzen voneinander zu unterscheiden.

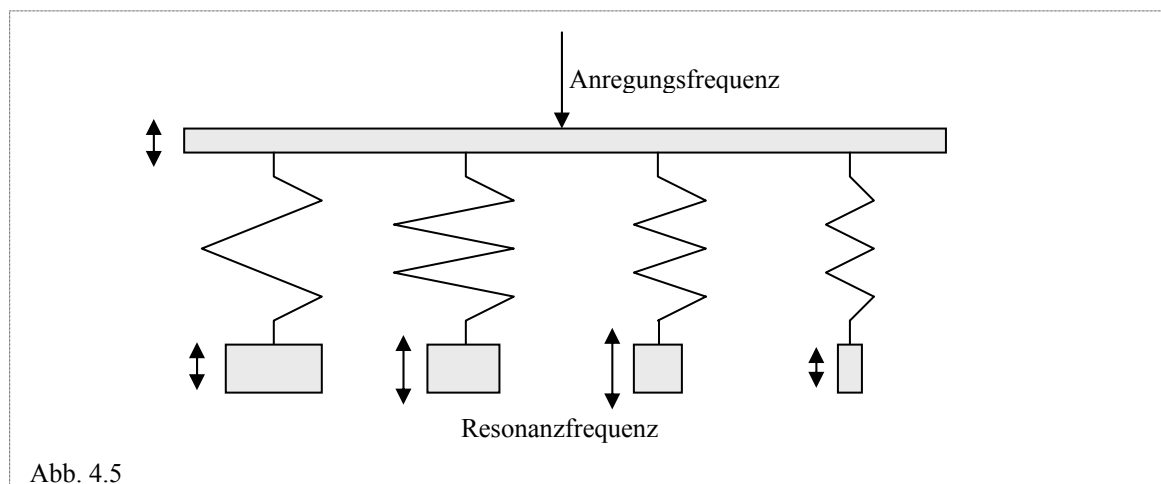


Abb. 4.5

²⁰ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.86ff

²¹ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, 87

5.2 Eigenschaften von akustischen Ereignissen

Akustische Ereignisse werden, unabhängig von kulturellen Gewohnheiten, primär nach Tonhöhe, Lautstärke und Klangfarbe unterschieden.

Werden z.B. auf einem Klavier zwei nebeneinander liegende Töne gleichzeitig angeschlagen, so werden diese beiden Töne vor allem auf Grund ihrer unterschiedlichen Tonhöhe voneinander unterschieden.

Wird eine Trommel unterschiedlich intensiv angeschlagen, so kann man die verschiedenen Töne leicht aufgrund ihrer Lautstärke voneinander unterscheiden.

Ein Beispiel für die Unterscheidung der Klangfarbe sind zwei unterschiedliche Instrumente, die gleichzeitig angespielt werden. Obwohl Tonhöhe und Lautstärke gleich sind, ist es dank der Klangfarbe trotzdem möglich, eine Gitarre von einer Violine zu unterscheiden.

5.2.1 Klänge und Geräusche

Wie bereits in Kapitel 3.3.2.1 besprochen, definieren sich Klänge anhand ihrer periodischen bzw. geordneten Signalkurve, Geräusche durch ihre aperiodische bzw. ungeordnete Signalform.

Klänge und Geräusche können jedoch auch rein durch die subjektive Wahrnehmung unterschieden werden.

Allgemein gilt, dass, wenn einem akustischen Ereignis Tonhöhe, Lautstärke und Klangfarbe gleichzeitig einwandfrei zugeordnet werden kann, man von einem Klang spricht. Ist hingegen alleinig die Zuordnung der Lautstärke möglich, so spricht man von einem Geräusch. Als einfaches Beispiel stelle man sich an dieser Stelle den Klang einer Violine vor, und im Gegensatz dazu das Geräusch einer Explosion.

5.3 Aspekte der Wahrnehmung & Psychoakustik

Akustische Ereignisse haben immer, bewusst oder unbewusst, einen Einfluss auf das Handeln, Denken oder Fühlen eines Menschen. Denkt man z.B. an den letzten Kinobesuch, so wird man sich an die Geschichte des gesehenen Films erinnern und den

damit verbundenen Gefühlsregungen, die man während des Besuches in der Vorstellung hatte. Angst, Aufregung, Spannung, Unbehagen, Freude oder Erotik, nur um ein paar Beispiele zu nennen. Doch ist es nicht nur der Verdienst der gesehenen Bilder, dass Menschen beim Betrachten von Filmen oder eben Videospielen situationsspezifische Emotionen entwickeln. Ein großer und meist stark unterschätzter Anteil an der Entstehung dieser Emotionen kommt der akustischen Kulisse des betrachteten Mediums zu. Dieses Phänomen der akustisch abhängigen Gefühlsentstehung wird unter dem wissenschaftlichen Begriff der Psychoakustik untersucht.

Die Psychoakustik ist ein Teilgebiet der Psychophysik, einer Disziplin, die, wie bereits erwähnt, untersucht, in welcher Weise die Sinnesorgane auf bestimmte physikalische Reizparameter reagieren.

Bezieht man diese Untersuchungen speziell auf das Hörorgan und den Hörvorgang, so spricht man von Psychoakustik.

Die Psychoakustik stellt sich somit als eine Disziplin dar, in der der Zusammenhang zwischen den physikalischen Eigenschaften eines Schallsignals und den daraus resultierenden Hörempfindungen beschrieben wird.

5.3.1 Ruhehörschwelle und Hörfläche

Unser Gehör kann nur akustische Ereignisse innerhalb eines bestimmten Frequenz- und Schallpegelbereiches wahrnehmen. Dies bedeutet, dass Hörempfindungen beim Menschen nur von Schallereignissen ausgelöst werden, deren Frequenz im Bereich von 20 Hz bis 20 kHz liegen. Für die Hörbarkeit ist aber außerdem noch ein gewisser Mindestschalldruck von $p = 20 \mu\text{Pa}$ erforderlich. Dieser Mindestschalldruck entspricht einem Schallpegel von 0 dB.

Zeichnet man den Schalldruckpegel, der notwendig ist, einen Ton gerade noch zu hören, als Funktion der Frequenz auf, so erhält man die Ruhehörschwelle.

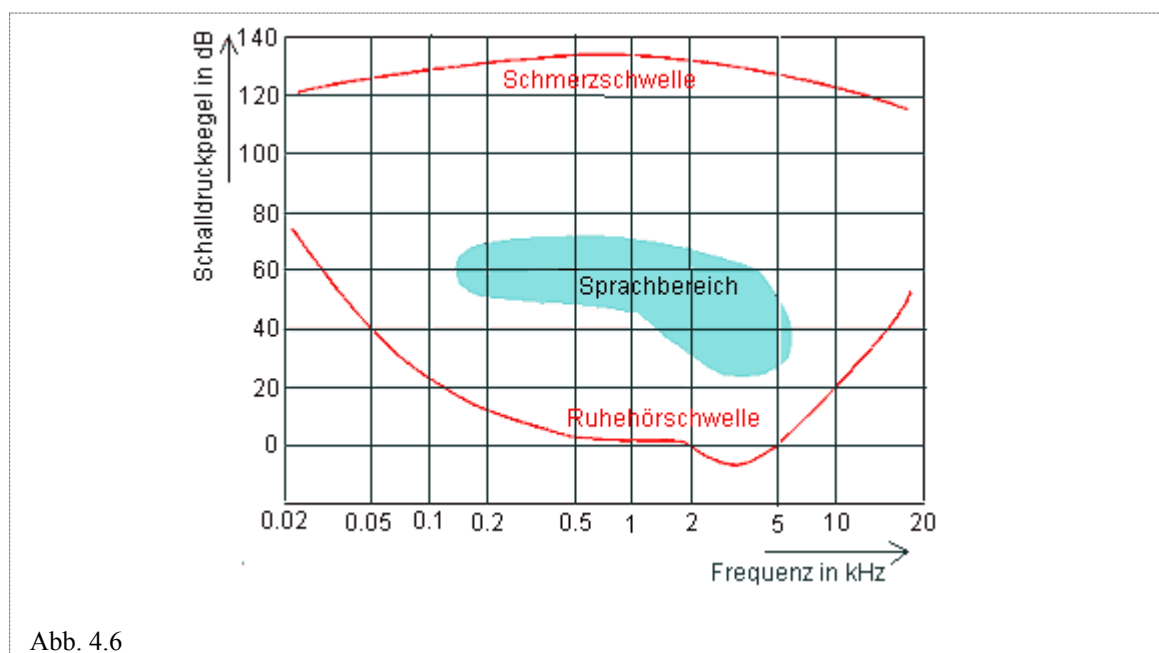
Erhöht man den Schalldruck, so wird man ab einem bestimmten Schalldruckpegel beim Hören der Töne Schmerz empfinden. Trägt man diese Kurve ebenfalls in Abhängigkeit der Frequenz auf, so erhält man die Schmerzschwelle.

Den Bereich zwischen Ruhehörschwelle und Schmerzschwelle bezeichnet man als Hörfläche.

Wird die Schmerzschwelle überschritten, so ist mit einer bleibenden Schädigung des Gehörs zu rechnen.

Zwischen den Werten des Schalldruckpegels im Bereich der Ruhehörschwelle und dem der Schmerzschwelle liegen 6 Zehnerpotenzen. Nur durch diesen gewaltigen Dynamikumfang ist das Gehör in der Lage, sehr leise Schallereignisse z.B. das Summen einer Mücke, genauso zu verarbeiten, wie das Rattern eines Presslufthammers.

Abbildung 4.6 veranschaulicht das frequenz- und schalldruckabhängige Hörspektrum des Menschen.²²



5.3.2 Verlauf der Hörschwelle & Schädigung durch Lärmeinwirkung

Aus dem Verlauf der Ruhehörschwelle geht hervor, dass das Gehör nicht für alle Frequenzen die gleiche Empfindlichkeit aufweist.

Je weiter die Hörschwelle zu niedrigeren Schallpegeln hin verläuft, desto empfindlicher reagiert das Gehör auf den entsprechenden Frequenzbereich. Aus der Hörschwelle lässt sich ablesen, dass im Bereich der Frequenzen zwischen 2 kHz und 5 kHz das Gehör am empfindlichsten reagiert. Dies ist an der Absenkung der Hörschwelle deutlich zu sehen. In diesem Bereich ist nur ein sehr geringer Schallpegel notwendig, um eine

²² vgl. http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/

Hörempfindung hervorgerufen.

Ab der Frequenz 10 kHz weist die Hörschwelle einen starken Anstieg auf. Der Schallpegel muss entsprechend erhöht werden, damit eine Hörempfindung hervorgerufen wird, deren subjektive Lautstärkeempfindung im gleichen Bereich liegt, wie die im Bereich der Absenkung zwischen 2 kHz und 5 kHz. Gleiches gilt für den Bereich niedriger Frequenzen.

Die wahrgenommene Lautstärke ist also nicht nur von dem Wert des Schalldrucks, sondern in gewissem Maße auch von der Frequenz abhängig.²³ (Abb. 4.7)

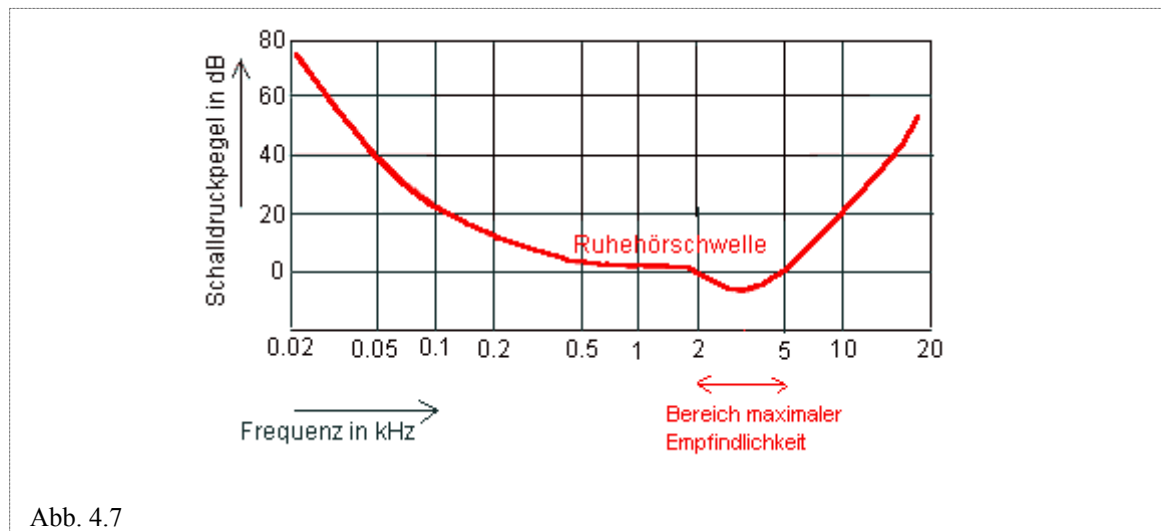


Abb. 4.7

Im Laufe des Lebens verschiebt sich der Verlauf der Hörschwelle. Die Anhebung der Ruhehörschwelle ist ein natürlicher Vorgang der in der Altersschwerhörigkeit gipfelt. Durch übermäßige Lärmbelastung kann es jedoch auch schon früher als normal zu einer Erhöhung der Hörschwelle kommen, wobei dieses Phänomen als Lärmschwerhörigkeit bezeichnet wird.

Lärmschwerhörigkeit bleibt im Anfangsstadium oft unbemerkt, da die Absenkung der Ruhehörschwelle zuerst in Frequenzbereichen außerhalb des Sprachbereichs auftritt, die für die alltägliche Hörwahrnehmung keine gravierende Rolle spielen. Bei weiterer Überlastung schiebt sich der Bereich der Schädigung zunehmend in den Sprachbereich und führt zu gravierenden Höreinbußen.

Hörschäden durch Lärmeinwirkungen haben ihre Ursache in einer irreparablen

²³ vgl. http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus/

Schädigung der Nervenzellen im Innenohr und sind unheilbar, da sich Sinneszellen nicht regenerieren können.

Abbildung 4.8 zeigt die altersbedingte Anhebung der Ruhehörschwelle.

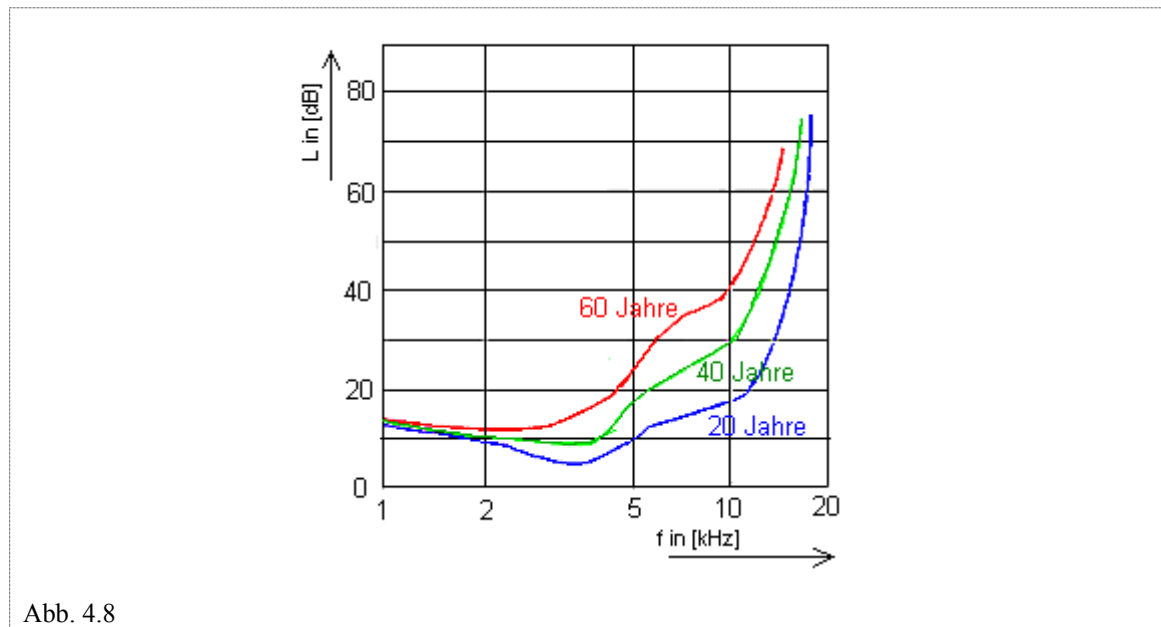


Abb. 4.8

5.3.3 Unterscheidungsschwelle

Aus Kapitel 4.3.2 wissen wir, dass das Ohr über einen großen Bereich (13 bis 14 Zehnerpotenzen) verfügt, in dem akustische Ereignisse wahrgenommen werden können. Nun stellt sich die Frage, wie viele verschiedene Schallintensitäten innerhalb dieses Bereiches voneinander unterschieden werden können, oder wie stark die Intensität zwischen zwei Schallereignissen sein darf, damit diese auch tatsächlich als zwei eigenständige Ereignisse wahrgenommen werden können.

Dieser Unterschied wird als JND (just noticeable difference), oder auch als Abstandsempfindung der Lautstärke, bezeichnet.

Zur Bestimmung dieses Wertes wurden verschiedene Versuche durchgeführt, in denen die Probanden eine Reihe von Sinustönen zu hören bekamen und in Folge darauf ihre Lautstärken unterscheiden mussten. Basierend auf den Ergebnissen dieser Versuchreihe wurde festgestellt, dass zwei Schallereignisse nur dann als unterschiedlich laut wahrgenommen werden können, wenn ihre Pegeldifferenz mindestens 0,5 bis 1 dB (Prozentualer Unterschied von etwa 15% bis 30% zwischen den beiden Tönen) beträgt.

5.3.4 Wahrnehmung physikalischer Eigenschaften

Wie schon bereits erwähnt versucht die Psychoakustik kausale Zusammenhänge zwischen physikalischen Größen des Schallsignals und den dadurch ausgelösten Empfindungen zu erfassen. Daher muss man auch verstehen, welche physikalischen bzw. mathematischen Grundgrößen der Audiotechnik (Grundfrequenz, Druckamplitude, Frequenzspektrum) vom menschlichen Gehirn interpretiert bzw. wahrgenommen werden.

Obwohl die in der folgenden Tabelle 4.1 ²⁴ dargestellten Kenngrößen menschlich wahrgenommenen Primärempfindungen zugeordnet werden können, sind diese aber keineswegs linear und gelten nur näherungsweise.

Mensch (Wahrnehmbare Eigenschaft)	Computer (Physikalische Kenngröße)
Tonhöhe	Grundfrequenz
Lautstärke	Druckamplitude
Klangfarbe	Frequenzspektrum

Tab. 4.1

5.3.5 Lautstärke und Dauer

Um aus einem akustischen Ereignis einen Ton heraushören zu können, muss dieses eine Mindestdauer von 10 bis 15 Millisekunden haben. Alles was kürzer dauert wird lediglich als „Klick“ wahrgenommen und interpretiert.

Ab einer Dauer von etwa 0,5 Sekunden wird schließlich das Maxima der Amplitude (Lautstärke) erreicht, was zur Folge hat dass z.B. sehr kurze akustische Ereignisse einen höheren Pegel aufweisen müssen, um gleich laut wie längere Signale wahrgenommen zu werden. Ein gutes Beispiel hierfür wäre ein Pianist, der, zum Vergleich kurz gespielte Noten (Staccato) stärker anschlagen muss, als wenn er gerade eine Legato Passage spielt. Bei lang andauernden Schallsignalen tritt der Effekt der Adaption, oder auch der Anpassung, auf, der bewirkt, dass bei gleich bleibender Schallintensität die

²⁴ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.23

wahrgenommene Lautstärke nach einiger Zeit wieder sinkt. Adaption tritt vor allem bei niedriger Schallintensität und hohen Frequenzen auf.

Dies darf aber nicht mit dem Phänomen der so genannten Ermüdung verwechselt werden, das eine psychologische Ursache hat und sich dadurch äußert, dass z.B. eher belanglose Geräusche, wie zum Beispiel das Rotieren eines Lüfters im Gehäuse eines PCs, nach einer gewissen Zeit ignoriert werden.

5.3.5.1 Unterscheidungsschwelle

Ähnlich wie bei der Wahrnehmung der Lautstärke führt nicht jede beliebige Differenz zweier Grundfrequenzen zu einem wahrnehmbaren Tonhöhenunterschied. Es kann also wieder durch psychoakustische Versuche eine wahrnehmbare, als JND (just noticeable difference) bezeichnete, Schwelle ermittelt werden.²⁵

Der JND beträgt bei Sinustönen unter 1 kHz etwa 1 Hertz. In sehr tiefen Frequenzbereichen kann dieser Wert sogar noch tiefer, bei 0,1Hz, liegen.

Zwischen 1kHz und 5 kHz steigt der JND allmählich an, um dann bei über 5 kHz wieder sehr rasch anzusteigen, was letztendlich dazu führt dass ab einer Tonhöhe von etwa 10kHz das menschliche Ohr praktisch überhaupt nicht mehr in der Lage ist, Tonhöhen voneinander zu unterscheiden.

Resultierend aus dieser Erkenntnis ist es nicht allzu verwunderlich, dass in der Musik im Allgemeinen keine Grundfrequenzen verwendet werden, die höher als 4,2 kHz liegen, da ansonsten nur ein hochfrequenter akustischer Einheitsbrei wahrzunehmen wäre.

5.3.6 Tonhöhen

Tonhöhe ist jene Wahrnehmung, die es dem Zuhörer ermöglicht, akustische Ereignisse auf einer Skala zwischen hoch und tief zu unterscheiden. Dabei ist besonders bemerkenswert, dass eine Verdopplung der Grundfrequenz (Frequenzverhältnis 2:1) immer zu einer besonderen Ähnlichkeit in der Wahrnehmung führt. Die Differenz zwischen dem tiefen und dem hohen Tönen wird als Oktave bezeichnet.

²⁵ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.96

Bei der Wahrnehmung der Tonhöhe wird aber nicht nur jede Verdopplung der Grundfrequenz eines Klanges als Oktave wahrgenommen, sondern es wird auch ganz allgemein jede Multiplikation mit einem konstanten Faktor als gleich bleibender Abstand empfunden. Diese Frequenzverhältnisse, also bestimmte Abstände zwischen Noten, werden als Intervall bezeichnet. (Tabelle 4.2) ²⁶

Intervall	Oktave	Quint	Quart	Grosse Terz	Kleine Terz	Große Sekunde	Große Sexte	Kleine Sexte
Frequenz verhältnis	1:2	2:3	3:4	4:5	5:6	8:9	5:3	8:5

Tab. 4.2

Jene Intervalle, die in der westlich geprägten Musik eine Rolle spielen, ergeben sich aus den Frequenzverhältnissen der weiteren Teiltöne des Klanges. Da diese Teiltonfrequenzen stets Vielfache der Grundfrequenz sind, müssen Grundfrequenzen und erste Teiltonfrequenz im Verhältnis 1 : 2, erste und zweite Teiltonfrequenz im Verhältnis 2 : 3, zweite und dritte Teiltonfrequenz im Verhältnis 3 : 4 usw. stehen. ²⁷

Interessantes Detail am Rande: Psychoakustische Tests ergaben, dass 75% der ungeschulten Hörer eine Oktave, 50% die Quint, 33% die Quart und 25% die Terz eher als ein Klangereignis wahrnehmen.

5.3.6.1 Konsonanz und Dissonanz

Ein weitere wichtiger Aspekt in Bezug auf Psychoakustik ist die Unterscheidung von Intervalle in konsonant und dissonant.

Konsonante Intervalle können als wohlklingend, glatt und angenehm beschrieben werden. Im Gegensatz dazu werden dissonante Intervalle meist als spannungsvoll, rau und eher unangenehm empfunden.

Für das Audiodesign von Computerspielen stellt dieses Wissen eine wichtige Rolle dar, da durch das bewusste Einsetzen von entsprechenden Intervallen auch ganz gezielt

²⁶ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.99

²⁷ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.99

Gefühlsregungen oder dramaturgische Aspekte vermittelt werden können. Bei der Instrumentation und beim Arrangieren der Soundkulisse muss daher immer beachtet werden, welche Klangkombination, sei es konsonant oder dissonant, zur entsprechenden Situation besser passt.

Es kann aber auch eine Rolle spielen, auf welchem Instrument der tiefere Ton gespielt wird. Ein Beispiel dazu liefert Tabelle 5.4²⁸, in der ein Klarinetten- und ein Violinklang im Abstand von einer großen Terz verglichen wird.

Tiefer Klang			Hoher Klang
Klarinette	Verhältnis	Empfindung	Violine
Teiltöne			Teiltöne
220 Hz	4 : 5	konsonant	275 Hz
660 Hz	5 : 6	konsonant	550 Hz
			825 Hz
1100 Hz	1 : 1	konsonant	1100 Hz
			1375 Hz
1540 Hz	1 : 1,07	dissonant	1650 Hz
			1925 Hz
220 Hz	4 : 5	konsonant	275 Hz
440 Hz			
660 Hz			
880 Hz	1,07 : 1	dissonant	825 Hz
1100 Hz			
1320 Hz	1 : 1,04	dissonant	1375 Hz
1540 Hz	1 : 1,07	dissonant	
			1925 Hz

Tab. 4.3

²⁸ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.101

Die Klarinette ist durch ein einseitig geschlossenes Rohr modellierbar, und ihr Spektrum setzt sich aus ungeradzahligen Vielfachen zusammen. Im Gegensatz dazu sind im Klang der Violine ausschließlich ganzzahlige Vielfache enthalten.

Wird bei einer großen Terz der tiefere Ton auf der Klarinette und der höhere auf der Violine gespielt, so bilden erst der siebte Teilton der Klarinette und der sechste der Violine ein dissonantes Obertonpaar. Das Intervall wird daher als sehr konsonant empfunden. Stammt der tiefere Ton hingegen von der Violine, so verhalten sich bereits der dritte Teilton der Klarinette und der vierte der Violine zueinander dissonant. Das Intervall klingt daher in diesem Fall als wesentlich spannungsvoller, also dissonant.²⁹

5.3.7 Klangfarbe

Klangfarbe ist jene Eigenschaft eines Schallereignisses, die es dem Zuhörer ermöglicht zwei akustische Ereignisse von gleicher Tonhöhe und Lautstärke zu unterscheiden. Im Gegensatz zur Lautstärke und Tonhöhe ist die Klangfarbe keine eindimensionale Eigenschaft und lässt sich daher auch nicht auf einer Skala zwischen laut und leise oder hoch und tief messen bzw. erfassen. Schwankungsstärke, Rauigkeit, Volumen und Dichte, Schärfe und Helligkeit können als psychoakustische Parameter für die Eigenschaft Klangfarbe herangezogen werden. Man merkt also schon, dass der Begriff der Klangfarbe mit Worten nicht ganz so leicht zu beschreiben ist. (Tabelle 4.4)

<u>Merkmal</u>	<u>Entstehung / Abhängig von</u>	<u>Beschreibung</u>
Schwankungsstärke	Variationen von Amplitude und Frequenz im Bereich der Transienten (hörbar)	z.B. Vibrato oder bruzeln
Rauigkeit	Extrem rasche Änderung von Amplitude und Frequenz	Überlagerung zweier Töne
Volumen	Anzahl, Dichte und Amplitude der Spektralen Maxima	Empfundene Lautstärke

²⁹ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.101

Dichte	Bandbreit des Signals im Spektrum	„Breite“ eines Schallereignisses
Schärfe	Balance zwischen hohen und tiefen Frequenzen (Schwerpunkt des Spektrums)	Scharf: Warntöne oder Alarm (unangenehm)
Helligkeit	Gewichtung von hohen und tiefen Frequenzen (ähnlich wie Schärfe)	

Tab. 4.4

Es ist jedoch noch einmal darauf hinzuweisen, dass es sich bei den Erklärungen in Tabelle 4.4 nur um eine grobe Kategorisierung von Klangfarbe handeln kann, da diese Eigenschaften teils ungenau definiert sind und sich manchmal nicht strikt voneinander trennen lassen bzw. nicht immer exakt quantifizierbar sind. Diese Problematik lässt sich schon alleine daran erkennen, dass es den meisten Menschen Mühe bereitet, akustische Ereignisse jenseits von laut und leise bzw. hoch und tief zu beschreiben. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass in der Klangfarbe oft Informationen unterschiedlichster Art auf komplexe Weise codiert ist, und daher gerade der Klangfarbe ein extrem wichtiger semantischer und emotionaler Aspekt in Bezug auf die akustische Gestaltung in Videospielen zukommt. Gerade hierbei wäre natürlich eine umfassende Typologie von Schallereignissen, die den semantischen Gehalt mit einbezieht und dabei eine Verbindung zu den technisch, mathematisch erfassbaren Signaleigenschaften herstellt, wünschenswert und äußerst hilfreich.

5.4 Räumliche Wahrnehmung

Die Fähigkeit des menschlichen Gehörs, Geräusche aus allen Richtungen zu orten, gehört wohl zu den interessantesten Eigenschaften der menschlichen Sinneswahrnehmung. Nicht nur, dass diese Fähigkeit wichtig für die Koordination im Raum ist oder dabei hilft, z.B. herannahende Gefahren bereits vor einem visuellen Kontakt zu erkennen und dementsprechend zu reagieren, so ist diese für unserer Zwecke ein entscheidender und

wichtiger Teil in Bezug auf moderne akustische Gestaltung im Bereich von Computerspielen.

Der Siegeszug der Dolby Labs im Bereich des 5.1 / 7.1 Surround Sound Standards ist auch an der Computerspiele Industrie nicht spurlos vorbeigegangen, und so sind heutzutage schon viele für Computerspiele konzipierte PCs mit entsprechender Hard- und Software ausgestattet.

Das menschliche Gehör kann vor allem die räumliche Tiefe, also nah und fern, und die räumliche Richtung (mehr dazu im nächsten Kapitel), also links und rechts, unterscheiden. Etwas schwieriger ist die Unterscheidung zwischen vorne und hinten bzw. oben und unten, vor allem dann, wenn entsprechende Vergleichsmöglichkeiten fehlen, oder, wie es bei einer 5.1 Anordnung der Fall ist, alle Boxen in einer Ebene angeordnet sind und somit die Unterscheidung zwischen Schallereignissen, die oberhalb oder unterhalb des Spielers stattfinden, besonders schwer ist. Beispiel hierfür soll folgender Sachverhalt (Abbildung 4.9) in einem „First Person Shooter“ liefern, wo mir dieses Problem schon selber mehrmals aufgefallen ist.

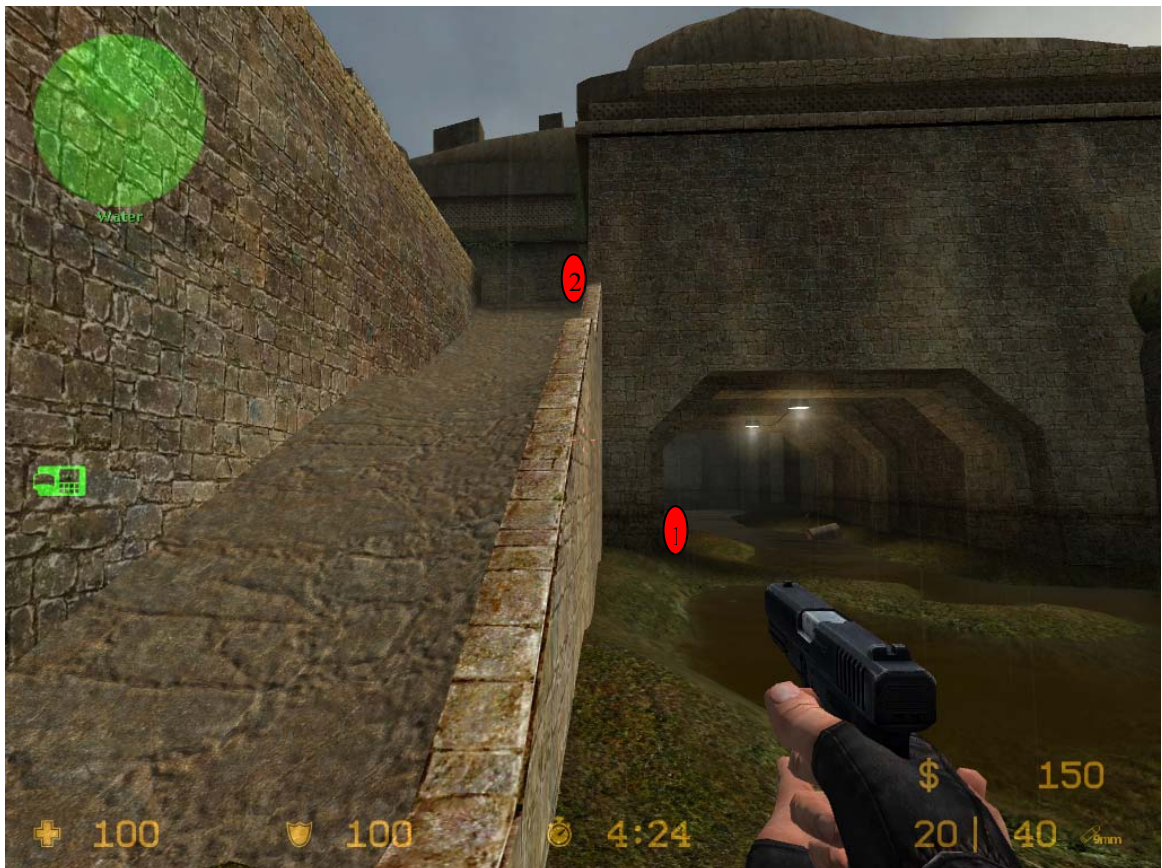


Abb. 4.9

Steht man am Fuße des Aufganges, so ist es nicht möglich, auf Grund eines Geräusches (z.B.: auf Grund eines abgefeuerten Schusses) akustisch räumlich zu orten, wo sich der Gegner befindet. Dieser könnte nun entweder im Schatten der Unterführung stehen (1), oder am oberen Ende des Aufganges (2), wo sich ein Eingang befindet und er durch die Erhöhung nicht sichtbar wäre. Natürlich befinden sich beide Standortmöglichkeiten nicht ganz exakt übereinander auf einer Linie, doch würde sich die Ausgabe des Schallereignisses primär durch den Center Lautsprecher der Anlage ereignen und wäre somit eine Ortung auf Grund der räumlichen Richtung (mehr dazu in Kapitel 4.4.2) nicht möglich.

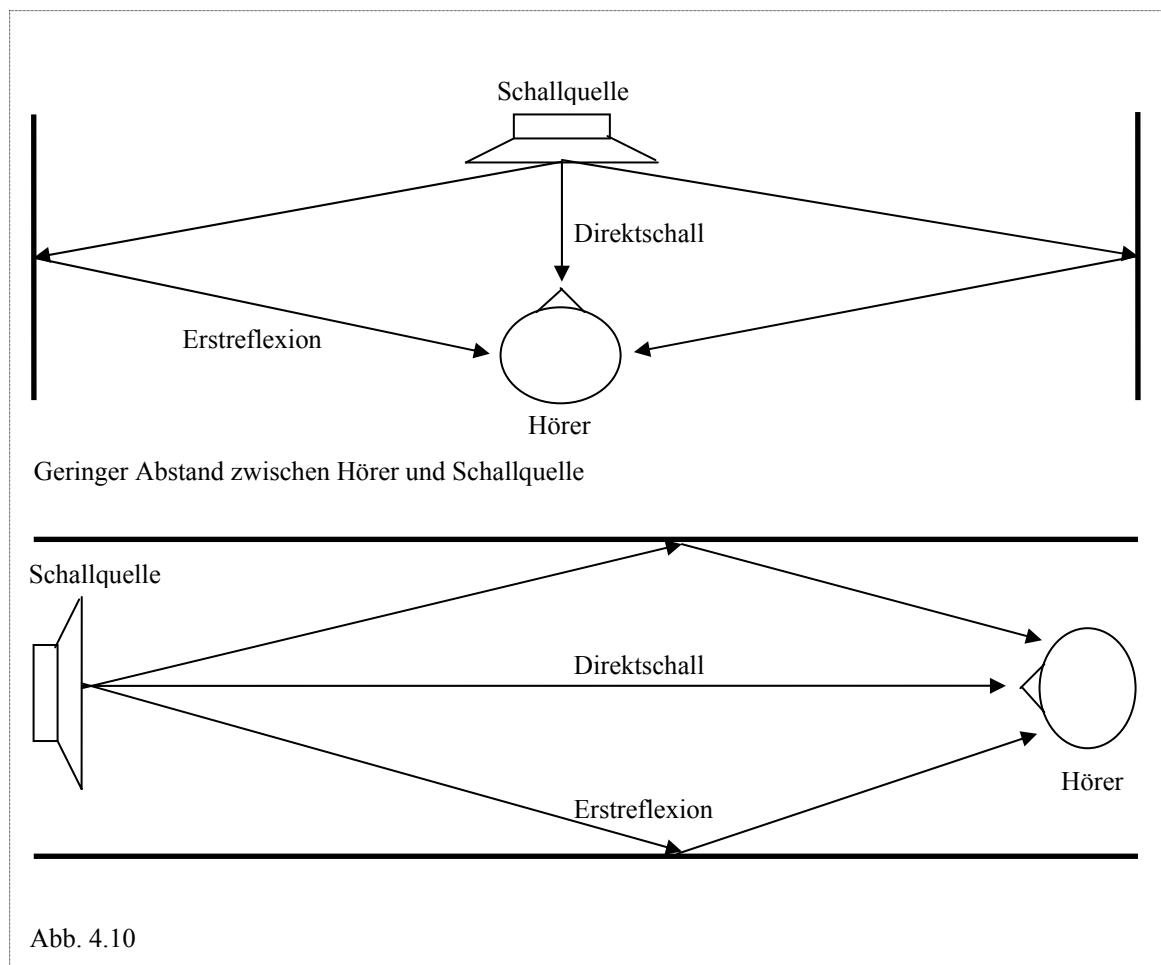
Das Beispiel mag vielleicht etwas trivial klingen, doch kann es gerade in einem schnellen Spiel wie es Counterstrike: Source ist, spielentscheidend sein, den Gegner als erstes zu orten bzw. zu hören.

5.4.1 Wahrnehmung der räumlichen Richtung

Die einfachste Möglichkeit, zwischen nahen und fernen akustischen Ereignissen zu unterscheiden, ist die Bewertung der Lautstärke. So nimmt z.B. bei kugelförmiger Schallausbreitung die Schallintensität mit dem Quadrat des Abstandes ab (6dB). Jedoch ist es schwierig nur auf Grund der Lautstärke ein Signal tiefenräumlich zu orten, da hierfür der Schallpegel in unmittelbarer Nähe der Quelle als Vergleichswert bekannt sein müsste. Somit spielen noch zwei physikalische Größen eine wichtige Rolle. Das Pegelverhältnis von Direktschall und Erstreflexion bzw. Erstreflexion und Nachhall, als auch die Verzögerungszeit zwischen Direktschall und Erstreflexion bzw. Erstreflexion und Nachhall.

Ist z.B. der Abstand des Hörers von der Schallquelle gering, so trifft der Direktschall mit geringer Abschwächung und Verzögerung beim Hörer auf. Erstreflexionen und Nachhall müssen jedoch verhältnismäßig viel weitere Wegstrecken zurücklegen und haben somit auch einen geringeren Pegel. Andererseits wird bei großem Abstand des Hörers zur Schallquelle der Direktschall mit großer Verzögerung und abgeschwächtem Signal eintreffen, und die Wegstrecken der Erstreflexionen werden einen verhältnismäßig gering längeren Zeitraum zum Rezipienten benötigen. Daraus folgt, dass sowohl die Verzögerung zwischen Direktschall und Erstreflexion, als auch deren Pegelunterschied

im Vergleich zu einer nahen Schallquelle gering sein werden. Zum besseren Verständnis zeigt Abbildung 4.10³⁰ die Wahrnehmung der räumlichen Tiefe.



5.4.2 Wahrnehmung der räumlichen Tiefe

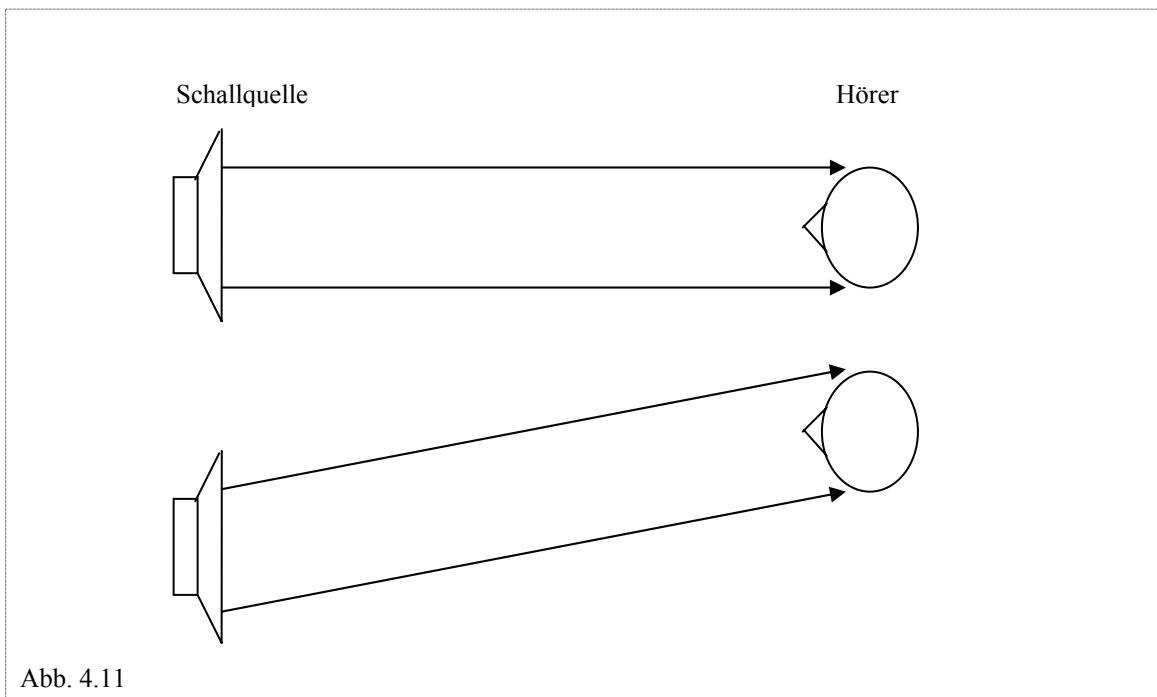
Um Schallsignale auf Grund der räumlichen Tiefe zu orten, bedient sich das menschliche Hörorgan einerseits der Auswertung des Intensitätsunterschiedes zwischen linkem und rechten Ohr, auch interauraler Intensitätsunterschied genannt, und andererseits dem Laufzeit- bzw. Phasenunterschied zwischen linken und rechten Ohr.

Passiert z.B. ein akustisches Ereignis auf der rechten Seite des Rezipienten, so wird der Schall zuerst vom rechten Ohr und erst danach, etwas zeitverzögert, vom linken Ohr aufgenommen. Dieser so genannte Laufzeitunterschied zwischen linkem und rechtem Ohr ermöglicht somit die räumliche Richtung eines Schallsignals wahrzunehmen. Der

³⁰ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.110

maximale Laufzeitunterschied ergibt sich bei einer Auslenkung der Schallquelle um 90° bzw. $\pi/2$ aus der Mittelachse. Er beträgt bei einem mittleren Kopfdurchmesser von rund 18cm und einer Schallgeschwindigkeit von 443 m/s etwa 0,7ms.

Oberhalb einer Grenzfrequenz von etwa 740 Hz kann der Phasenunterschied jedoch nicht mehr zur Richtungswahrnehmung herangezogen werden. Um jedoch auch bei höheren Frequenzen die Richtung des Schallsignals bestimmen zu können, muss auch der Intensitätsunterschied zwischen den beiden Ohren ausgewertet werden. Abbildung 4.11³¹ zeigt die Richtungswahrnehmung auf Grund von Laufzeitunterschieden.



Wie mit Hilfe von Mehrkanaltonaufzeichnungen, 3D Sound Standards und Surround Sound Hardware das 3dimensionale Schallerlebnis bei Computerspielen realisiert wird, wird im nachfolgenden Kapitel Computerspiele und Soundsysteme besprochen.

³¹ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.112

6. Computerspiele und Soundsysteme

Im folgenden Kapitel soll nun die Geschichte der Videospiele etwas näher beleuchtet und die Entwicklung im Bereich der Soundkarten und Soundsysteme, sowie von Soundstandards und Techniken bis in die heutige Zeit, beschrieben werden.

Natürlich kann nicht jedes Videospielsystem bzw. jeder Hersteller, das/der in der Vergangenheit eine wichtige Rolle im Videospielemarkt einnahm, genau behandelt werden, da dies sonst den Rahmen der Diplomarbeit sprengen würde, doch sollen die folgenden Seiten trotzdem einen kleinen Einblick in die Entwicklung der Computerspiele-Industrie gewähren.

Als erstes will allerdings einmal der Begriff „Computerspiel“ bzw. „Videospiel“ definiert werden.

Ein Computerspiel ist ein interaktives Medium, ein Programm auf einem Computer, das einem oder mehreren Benutzern ermöglicht, ein durch implementierte Regeln beschriebenes Spiel zu spielen. Computerspiele für Spielkonsolen werden oft auch als Videospiele bezeichnet, eine veraltete Bezeichnung ist hierbei auch Telespiel.

Computerspiele kann es für jede Art von Computer geben, wobei sich Personal Computer (PC) und Spielkonsolen am stärksten als Plattformen etabliert haben. Aktuelle Beispiele für Spielkonsolen wären der Nintendo GameCube, die Microsoft XBox, oder die allseits bekannte und in Mitteleuropa am weitesten verbreitete Sony PlayStation2. Zusehends werden auch immer kleinere und mobilere Geräte als Plattformen verwendet, wie beispielsweise PDAs (Personal Digital Assistant) oder Mobiltelefone.³²

³² vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Videospiel>

6.1 Die Geschichte der Videospiele

Das 1958 vom amerikanischen Physiker William Higinbotham konstruierte Tennis for Two am Brookhaven National Laboratory, bestehend aus einem Analogcomputer und einem Oszillographen, kann wohl als erstes Computerspiel angesehen werden.

Die weitere Entwicklung war stark abhängig von der technischen Weiterentwicklung der Computertechnologie. So entstanden die ersten, grafisch noch recht einfachen Computerspiele auf Großrechnern an amerikanischen Universitäten und blieben somit nur einer kleinen Zahl von Studenten und Wissenschaftlern vorbehalten, wie etwa Spacewar von 1962 am Massachusetts Institute of Technology (MIT).

Bei Spacewar handelte es sich um eines der ersten Video- und Mehrspieler-Computerspiele. 1961 am Massachusetts Institute of Technology (MIT) von Steve Russell an einem PDP-1 (Personal Digital Prozessor) begonnen, und im Frühling 1962, mit Hilfe seiner Freunde vom Tech Model Railroad Club, fertig gestellt.

Trotz seiner für heutige Verhältnisse archaischen Grafik übte das Spiel auf die Studenten eine große Faszination aus und hat bis heute unzählige Nachahmer inspiriert. Mittlerweile wurde das Spiel mehrfach in den verschiedensten Programmiersprachen und auf fast allen Betriebssystemen nachprogrammiert.

Inhalt des Spiels bilden zwei Raumschiffe, die, von einem menschlichen Spieler oder dem Computer gesteuert, um eine Sonne kreisen. Ziel ist es, den Gegner abzuschießen. Das Handicap stellt dabei ein Gravitationsfeld in der Mitte des Spielfelds dar, um das sich sowohl die beiden Raumschiffe, als auch die Geschosse bewegen und somit abwechselnd beschleunigt und gebremst werden. Ein Spieler gewinnt, sobald das gegnerische Schiff getroffen wird oder in das Gravitationsfeld stürzt.

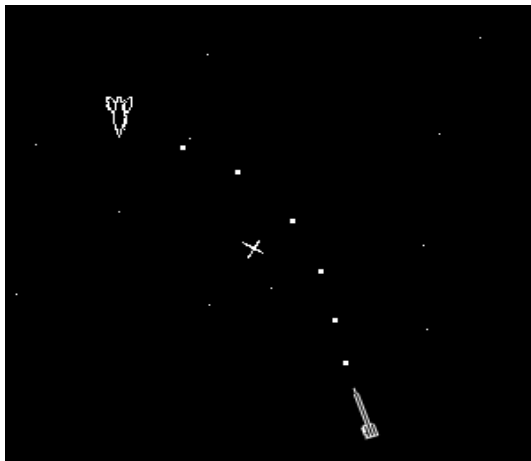


Abb. 5.1 Das Original Spacewar

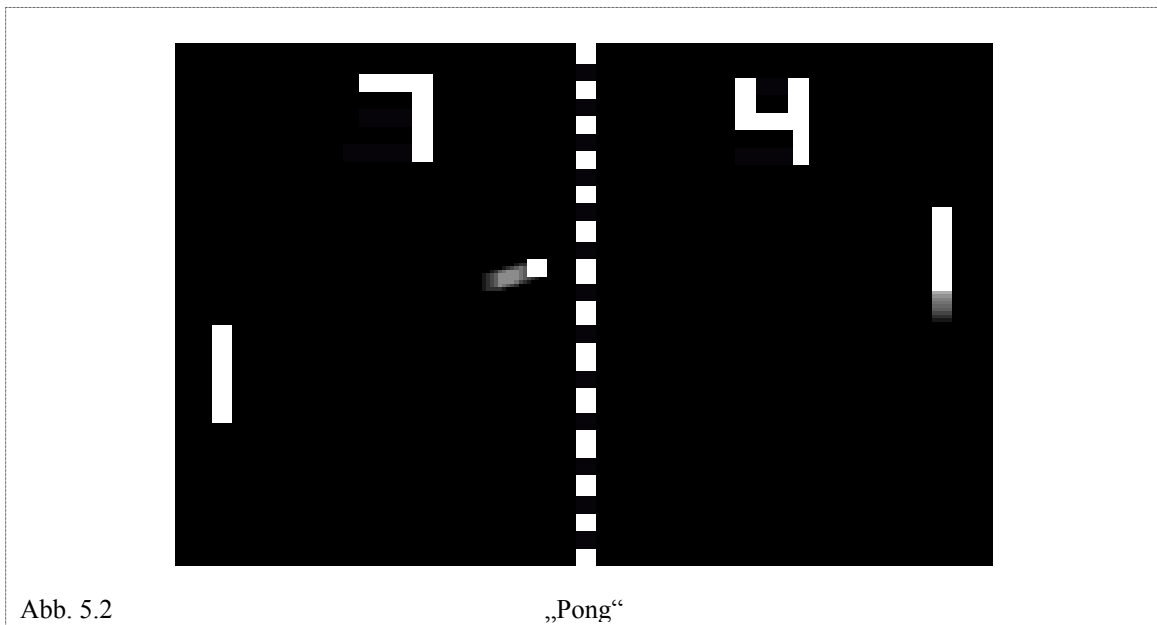


Neuere Version von Spacewar

Anfang der 1970er Jahre entwickelten sich aus der bestehenden massenproduzierten und daher relativ preisgünstigen, Fernsehtechnologie elektronische Spielautomaten, die erstmals auch münzbetrieben der Öffentlichkeit zugänglich waren. Deshalb auch die Bezeichnung „Videospiel“. Das erste erfolgreiche Spiel war Pong, welches von Atari-Gründer Nolan Bushnell entwickelt wurde.

1972 wurde Pong von Atari veröffentlicht und folglich zum ersten weltweit populären Videospiel. Es gilt allgemein als Urvater der Videospiele, obgleich zuvor bereits Videospiele entwickelt wurden, jedoch erreichten diese noch kaum Menschen jenseits der Universitäten.

Das Spielprinzip von Pong (Abbildung 5.2) ist simpel und ähnelt dem des Tischtennis: Ein Punkt (Ball) bewegt sich auf dem Bildschirm hin und her. Jeder der beiden Spieler steuert einen senkrechten Strich (Schläger), den er mit einem Drehknopf (Paddle) nach oben und unten verschieben kann. Lässt man den Ball am Schläger vorbei, erhält der Gegner einen Punkt.³³



Im Laufe der 70er Jahre entwickelten sich die Videospiele rasant und wurden z.B. von Firmen wie Atari oder Magnavox in Form von Videospielkonsolen auch für Heimanwender attraktiver, jedoch verloren dadurch die öffentlichen Spielhallen allmählich ihre Vormachtstellung im Bereich der Videospiele.

³³ vgl. <http://de.wikipedia.org/wiki/Pong>

Mit der Umsetzung des sehr erfolgreichen Spielhallenspiels Space Invaders für den Atari 2600 kam 1979 der Durchbruch für die Heimkonsolen, die sich rasant zum Massenartikel entwickelten.

Space Invaders, ist ein Computerspiel, entworfen und programmiert von Toshihiro Nishikado, vertrieben von Taito, erschien im Jahre 1978. Neben dem bekannten Pac Man war Space Invaders eines der Spiele, die die frühe Entwicklung der Videospiele geprägt haben.

Space Invaders wird dem so genannten Shoot 'em up Genre zugeordnet.

Der Spieler steuert eine Kanone, die am unteren Bildschirmrand nach links und rechts bewegt werden kann. Jeder Level beginnt mit mehreren Reihen regelmäßig angeordneter Aliens, die sich ständig horizontal und dabei nach und nach abwärts bewegen und den Spieler mit Geschossen angreifen. Der Spieler selbst hat einen unbegrenzten Munitionsvorrat, kann aber erst dann ein neues Geschoss abfeuern, wenn das vorige vom Bildschirm verschwunden ist. Wenn es einem der Aliens gelingt, den unteren Bildschirmrand zu erreichen und neben der Kanone zu landen, verliert der Spieler eines seiner Leben.

Als Deckung stehen dem Spieler Blöcke zur Verfügung, hinter denen er sich so lange verstecken kann, bis der Block von den Aliens oder von ihm selbst zerschossen wird. Space Invaders zog die Aufmerksamkeit des Publikums auf sich, wie es noch kein Spiel vorher geschafft hatte – zu diesem Zeitpunkt der Veröffentlichung lagen viele Leute im Star Wars Fieber und waren somit von der Raumschiff- und Alien- Thematik begeistert. Space Invaders (Abbildung 5.3) war das erste Videospiel mit farbigen Darstellungen, auch wenn diese nur durch Overlay Folien erzeugt wurden.

Das Spiel stellt jedoch auch deswegen einen so großen Meilenstein in der Geschichte der Videospiele dar, da in diesem das erste Mal ein durchgängiger und adaptiver Soundtrack verwendet wurde. Vier sich ständig wiederholende Bass Noten werden umso schneller wiederholt, desto weiter das Spiel voran schreitet bzw. die Aliens sich dem Spieler nähern, was ein noch gesteigertes Spielgefühl erzeugte und dem Spieler signalisieren sollte, dass die Zeit langsam knapp werden würde und er sich beeilen müsste.³⁴

³⁴ vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Space_Invaders



Abb. 5.3

Space Invaders

Im Jahr 1983 kam es jedoch zum großen Crash auf dem Videospielemarkt. Gründe dafür waren vor allem:

1. Überschwemmung des Marktes durch eine hohe Zahl schlechter Spiele (vor allem für den Atari 2600)
2. unrealistische Gewinnerwartungen der meist kleinen Herstellerfirmen
3. technische Überlegenheit der Heimcomputer
4. leichte Kopierbarkeit von Computerspielen auf Kassetten und Disketten und der dadurch höheren Attraktivität gegenüber den für Privatteile nicht kopierbaren Modulen der Videospiele (Kopierschutz war hier ein Wettbewerbsnachteil, kein Vorteil, wie manchmal angenommen wird)

Dadurch war die erfolgreiche Zeit der Videokonsolen erst einmal vorbei. Im Jahr 1984 wurden praktisch gar keine Spiele, außer Restbeständen verkauft.

In Japan, wo Heimcomputer nicht so populär waren, und der Crash daher weniger stark ausfiel, gab es eine neue Hoffnung: Nintendo mit seinem NES. Dieses Gerät läutete 1985 eine neue Ära der Videospiele ein.³⁵

1985 sank der Umsatz mit Videospiele in den USA auf 700 Millionen Dollar was zur Folge hatte, dass sich die meisten Firmen vom Videospielemarkt zurückzogen. Nintendo formierte den Markt neu und verkaufte bis Ende des Jahres 6,5 Millionen Famicom Konsolen. Auf dem amerikanischen Markt wurde der Famicom im Spätherbst unter dem Namen NES (Nintendo Entertainment System) herausgebracht.

1986 lies Nintendo den amerikanischen Videospielemarkt mit verbesserter Technik und anspruchsvoller Software neu aufleben und verkaufte mehr als 1 Million NES Konsolen. Im Jahre 1987 verkaufte die gesamte Videospielebranche in den USA insgesamt 4,1 Mio. Spielsysteme wobei 3 Millionen davon vom Marktführer Nintendo stammten, welcher damit einen Umsatz von 800 Millionen Dollar erzielte. Das erste Spiel, welches von Nintendo mehr als 1 Million mal über den Ladentisch wanderte war, The Legend of Zelda.

1989 war die Geburtsstunde des ersten tragbaren Videospielesystems, nämlich die des Gameboys. Er erschien zusammen mit Tetris (von Tetra = Vier), welches das erste russische Videospiele war, das in Amerika produziert wurde. Zu dieser Zeit verfügten bereits 22% aller Haushalte in den USA über eine NES Konsole.

1990 war das Gründungsdatum der Nintendo of Europe GmbH in Großostheim. Schon sechs Monate nach dem Start wurden auf dem deutschen Markt 400.000 Gameboys und 145.000 NES-Geräte verkauft. Nach Veröffentlichung von Super Mario Bros 3 für das NES wurde das Spiel bis Ende des Jahres 7 Millionen mal verkauft.

In Japan wurde der Super Famicom, welcher in den USA und Europa unter dem Namen SNES (Super Nintendo Entertainment System) bekannt wurde, eingeführt.

1991 war Nintendo das erfolgreichste Unternehmen Japans und überholte damit Toyota. Nach der Einführung des Super Nintendo in den USA verkaufte es sich in einem Jahr bereits 6,6 Millionen mal, wobei über 23 Millionen Spielmodule über den Ladentisch gingen. Nach Ende des ersten Geschäftsjahres wurden in Deutschland insgesamt 1,7 Mio Gameboys und 455.000 NES-Konsolen verkauft.

³⁵ vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Videospiele#Die_Anf.C3.A4nge

1992 ist es soweit, der „Super Nintendo“ erblickte hierzulande das Licht der Welt und verkaufte sich bis Jahresende 500.000 mal und erreicht einen Marktanteil von 60%.³⁶ Am 23. Juni 1996 veröffentlichte Nintendo in Japan den Nintendo 64. Dieser war die erste Spielkonsole mit einem 64bit Prozessor und wanderte bis Ende 1996 stolze 4 Millionen mal über die Ladentische. Am 1. März 1997 erreichte der Nintendo 64 auch den europäischen Markt. Alleine in Deutschland verkauft er sich bis Ende des Jahres 700.000 mal. Die goldenen Jahre für Nintendo waren allerdings gezählt. Denn der Nintendo 64 war zwar trotz veralteter Modultechnologie in technischer Hinsicht der 1995 in Europa erschienenen Sony Playstation überlegen, wurde aber mit eigenem Zutun (vor allem durch die massive Auswertung der Rechte an Pokemon) von Nintendo zur „Kinderkonsole“ degradiert und musste sich somit mit dem Platz hinter dem Marktführer von Sony zufrieden geben. Vor allem war jedoch entscheidend, dass Sony mehr als 250 3rd- Party Hersteller für ihr Konzept gewinnen konnte, was für ausreichenden Spielenachschub für die noch junge Konsole sorgte.³⁷ Im Gegenzug dazu setzte Nintendo auf altbewährte Eigenentwicklungen wie Super Mario oder The Legend of Zelda, was zwar eine Reihe von Spiele Hits exklusiv für den Nintendo 64 zur Folge hatte, jedoch die PlayStation in Punkto Gewinn und Verbreitung nie einholen konnte. Eine andere Konsole dieser Zeit war unter anderem noch die Sega Saturn Konsole, die jedoch aufgrund ihrer komplizierten Programmierbarkeit von vielen Entwicklern links liegen gelassen wurde. Damit konnte sich die Playstation vorerst als die Spielkonsole der breiten Masse etablieren. 2000 folgt der Nachfolger der Playstation unter dem Namen Playstation2. Im Jahre 2001 drängte sich ein dritter Großkonzern auf den Konsolenmarkt. Microsoft brachte mit der Xbox der Playstation2 und dem im selben Jahr erschienenen Nintendo GameCube eine technisch überlegene Konsole heraus. Bis heute ringen Sony, Microsoft und Nintendo um die Vorherrschaft im Konsolensektor, wobei bemerkenswert ist, dass die Grenze zwischen Spielkonsole und Personal Computer immer mehr zu verwischen scheinen, was schon daran zu erkennen ist, dass z.B. Microsoft mittlerweile ein Breitbandmodem für ihre Xbox anbieten, die es dem Spieler

³⁶ vgl. <http://nintendo-fanpage.hosteasy.de/Nintendogesichte.php>

³⁷ vgl. http://www.multikonsolero.de/html/konsolentechdat_psx.htm

ermöglicht, diverse Updates für Spiele herunterzuladen oder sich mit anderen Spielern auf der ganzen Welt zu messen.

Dieser Trend wird auch in den so genannten Next Generation Konsolen fortgeführt, wonach es laut vereinzelt Auskünften von Microsoft bereits neben einem Windows basierten Betriebssystem für die XBox2 auch die Möglichkeit geben soll, diverse Peripherie Geräte via USB an die neue Microsoft Konsole anschließen zu können. Neben der Konsole als Plattform für Videospiele hat sich natürlich auch mit dem Aufkommen der 80186 bzw. 80188 Prozessoren im Jahre 1983 auch der Personal Computer langsam als Plattform für Computerspiele etabliert.

Im folgenden Kapitel soll daher die geschichtliche Entwicklung von Soundkarten und Soundstandards für Computerspiele bis in unsere heutige Zeit behandelt werden.

6.2 Entwicklung von Soundkarten und – standards

Das folgende Kapitel soll die wichtigsten Meilensteine in der Entwicklung von Soundkarten aufzeigen, wobei jedoch natürlich nicht jede Soundkarte oder Standard besprochen werden kann.

Zuvor noch eine Begriffsdefinition: Die kleinste akustische Einheit, die ein Soundchip oder ein Synthesizer getrennt wiedergeben kann, wird als Stimme bezeichnet. Beispiele hierfür wären die schwingende Saite einer Gitarre oder eines Klaviers, oder der Ton einer Trompete. Einstimmige Geräte werden monophon, mehrstimmige polyphon genannt.³⁸ (Auch bekannt durch die Beschreibung der Klingelton - Qualität von Mobiltelefonen)

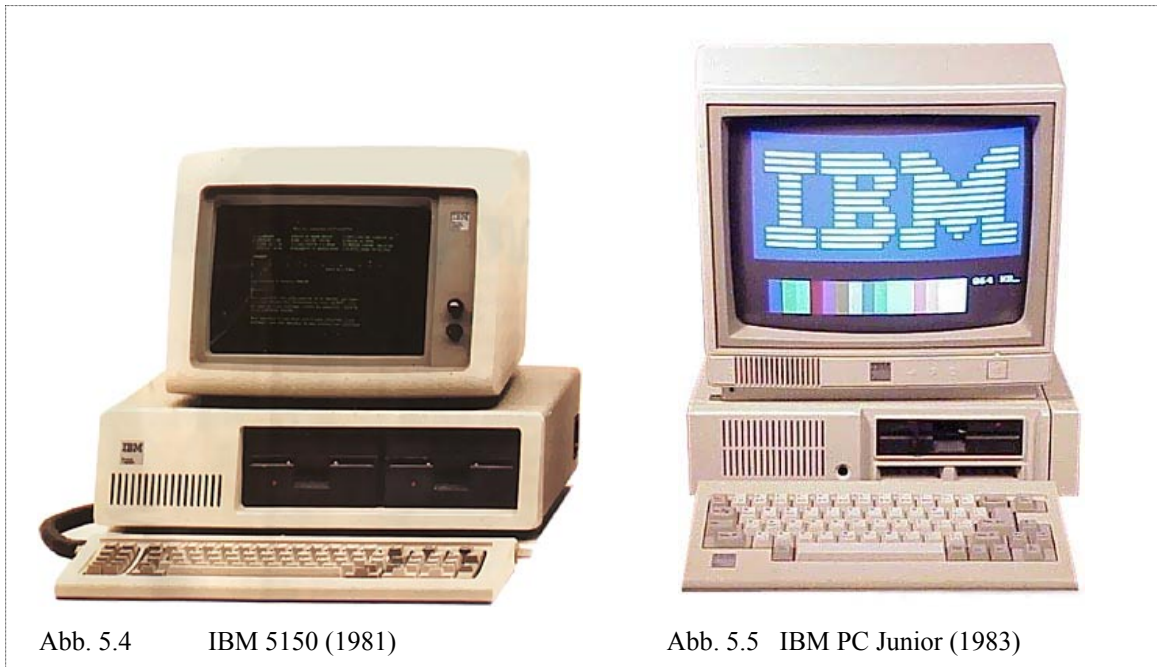
6.2.1 PC Speaker (1981)

Der Anfang von PC Sound kann mit dem Jahr 1981 datiert werden, das Jahr, in dem der IBM PC Modell 5150 (Abbildung 5.4) mit einer 8088 CPU das Licht der Welt erblickte. Damals kam es nicht auf die technischen Raffinessen eines Computers an, ob er gekauft wurde oder nicht, er musste vor allem billig sein, und dies war bei der Wiedergabe von Sound auch zu hören.

³⁸ vgl Tibor Schütz, 2003, S.5

Der Originale IBM PC konnte genau ein Rechteckssignal mit nur einem fix vorgegeben Lautstärke Pegel und einem Kanal abspielen. Zumindest gab es die Möglichkeit, verschiedene Frequenzen wiederzugeben.

Natürlich war es quasi unmöglich, mit diesen beschränkten technischen Mitteln vernünftige Musik zu komponieren geschweige denn wiederzugeben, doch schafften es gewiefte Soundtechniker von LucasArts für den Spieleklassiker Maniac Mansion, mit Hilfe von extrem kurzen Abständen zwischen Tonfrequenzen mehrere Kanäle zu simulieren und somit z.B. Drums und eine Melodie über den PC Speaker auszugeben. Später schafften es Soundtechniker sogar, kurze Sound Samples über den PC Speaker wiederzugeben, doch war dies aufgrund der geringen Rechenleistung des 8088 und des hohen Aufwandes eher nur von theoretischem Nutzen.³⁹



6.2.2 IBM PC Junior (1983)

1983 versuchte IBM mit dem PC Junior (PCJr) ein Konkurrenzprodukt zum bereits etablierten C64 auf den Markt zu bringen. IBM waren die Schwächen, die ihre Produkte im Bereich Video und Sound hatten, durchaus bewusst, und so vermochte der PCJr (Abbildung 5.5) mit Hilfe eines Texas Instruments Chip Sound mit bis zu 3 Kanälen und

³⁹ vgl. <http://www.crossfire-designs.de/index.php?lang=en&what=articles&name=showarticle.htm&article=soundcards/&page=4>

einem Noise Kanal mit je 16 Lautstärken auszugeben, was heutzutage mit dem akustischen Spektrums eines GameBoys vergleichbar wäre. Damals waren diese technischen Spezifikationen jedoch eine revolutionäre Neuheit und eine Bereicherung für die Welt des PC Sound.

In den folgenden Jahren folgten diverse Versuche (z.B. SoundMaster) verschiedener Hersteller (z.B. Disney oder Covox) die Soundausgabe bei PCs zu verbessern, doch waren keine dieser von Erfolg gekrönt bzw. brachten den erwarteten Durchbruch.

6.2.3 AdLib (1987)

Aufrüstbarkeit war ohne Zweifel eines der entscheidenden Kriterien für den Erfolg des PCs. Während andere Systeme in dieser Hinsicht offensichtliche Grenzen gesetzt waren, konnte man den PC mittlerweile ohne größere Probleme schnell und einfach aufrüsten. Und so gab es natürlich auch bald Firmen, die Steckkarten anboten, um die Qualität und die Möglichkeiten von Sound am PC zu verbessern. Selbstverständlich gab es auch negative Beispiele wie SSI 2001 mit dem SID 6581, die aus dem C64 stammte, oder eben (wie im vorherigen Kapitel besprochen) Covox mit ihrem SoundMaster.

Doch sollte eine Firma von besonderem Erfolg gekrönt sein: AdLib, die mit dem Yamaha YM3812 Chip (auch bekannt als OPL2) einen riesigen Erfolg feiern konnten.⁴⁰

Der OPL2 ist abwärtskompatibel zum OPL1 alias YM3526, dem er sehr ähnlich war.

Eigentlich wurden nur drei neue Wellenformen hinzugefügt. Eine erweiterte Version des OPL2, der OPL3 alias YMF262, war ebenfalls weit verbreitet und in späteren Soundkarten wie z.B. im Soundblaster 16 von Creative Labs zu finden.

Die Schaltung des Chips hatte 244 verschiedene Register zum Beschreiben. Dieser konnte 9 stimmigen Sounds ausgeben, jede Stimme (Kanal) erzeugt durch zwei Oszillatoren.

Jeder Oszillator produzierte Sinuskurven, welche in drei andere Wellenformen verwandelt werden konnten – der negative Anteil der Schwingung konnte stummgeschaltet oder invertiert werden, und auch Pseudo-Sägezahnschwingungen (1/4 Sinusschwingung aufwärts mit dazwischenliegenden stummen Bereichen) konnten erzeugt werden. Diese ungewöhnliche Art, Wellenformen zu erzeugen, gaben dem

⁴⁰ vgl. <http://www.crossfire-designs.de/index.php?lang=en&what=articles&name=showarticle.htm&article=soundcards/&page=6>

YM3812 (OPL2) einen charakteristischen Klang. Zusätzlich hatte jeder der Wellen-Generatoren seinen eigenen ADSR (siehe Kapitel 3.3.4) - Hüllkurvengenerator.⁴¹

Ohne Frage hatte AdLib mit dieser Soundkarte (Abbildung 5.6⁴²) ein Tor zu einem neuen Massenmarkt aufgestoßen, und so war es auch nicht sonderlich verwunderlich, dass auch fast alle neueren, auf DOS basierende Spiele, den OPL2 unterstützten.

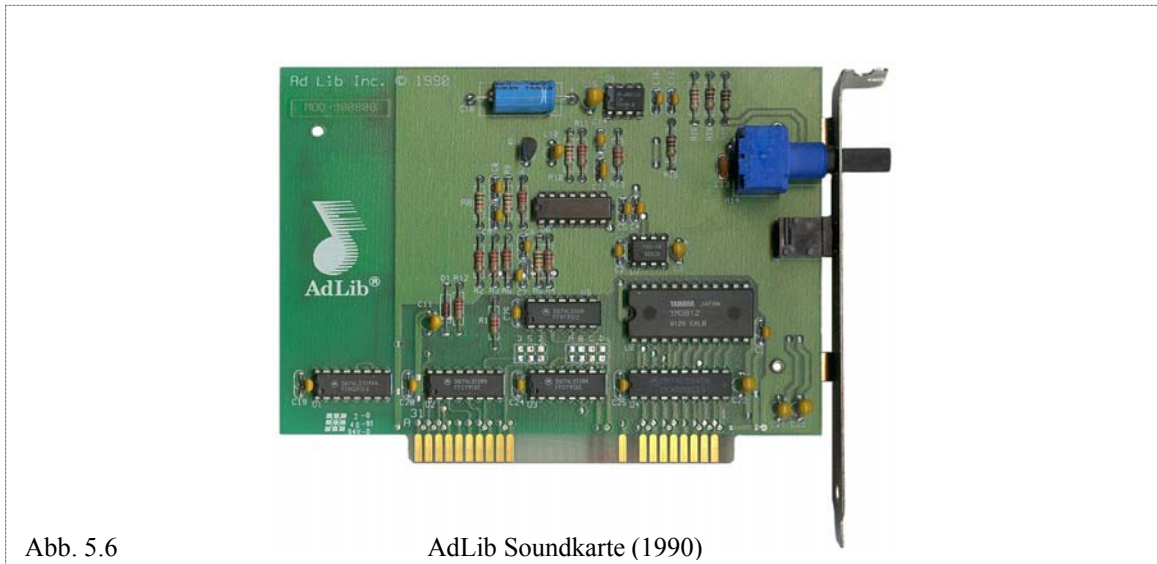


Abb. 5.6

AdLib Soundkarte (1990)

6.2.4 GameBlaster (1988)

Eine gewisse Form von „Totgeburt“ hat Creative Music Systems (mittlerweile Creative Labs), im Jahre 1988 auf den Markt gebracht.

Man nehme 12 PC Speaker, erlaube ihnen eine Lautstärkeänderung in 16 Stufen, gebe dazu noch einen Noisegenerator, der 3 verschiedene Drums nachbilden soll, und erlaube zudem die Wiedergabe in Stereo. Immerhin etwas, mit dem man gegenüber AdLib glänzen konnte!

AdLib bot trotz allem wesentlich mehr fürs Geld, und so ist es nur verständlich, dass diese Karte keine große Verbreitung fand. Doch schon damals verstand man es bei Creative Labs, sich seine Unterstützung bei Spielefirmen zu sichern. Im Endeffekt kam eine gute Masse von Spielen zusammen, die mit dieser Karte Musik abspielten.

⁴¹ vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Yamaha_YM3812

⁴² vgl. <http://www.crossfire-designs.de/index.php?lang=en&what=showimage&name=images/articles/soundcards//adlib.jpg&title=AdLib+in+the+version+of+1990>

Dennoch ist es trotz allem bedauernswert, dass diese Spiele die GameBlaster (Abbildung 5.7) nur allzu oft auch nur als Vervielfachung des PC Speakers nutzten.⁴³

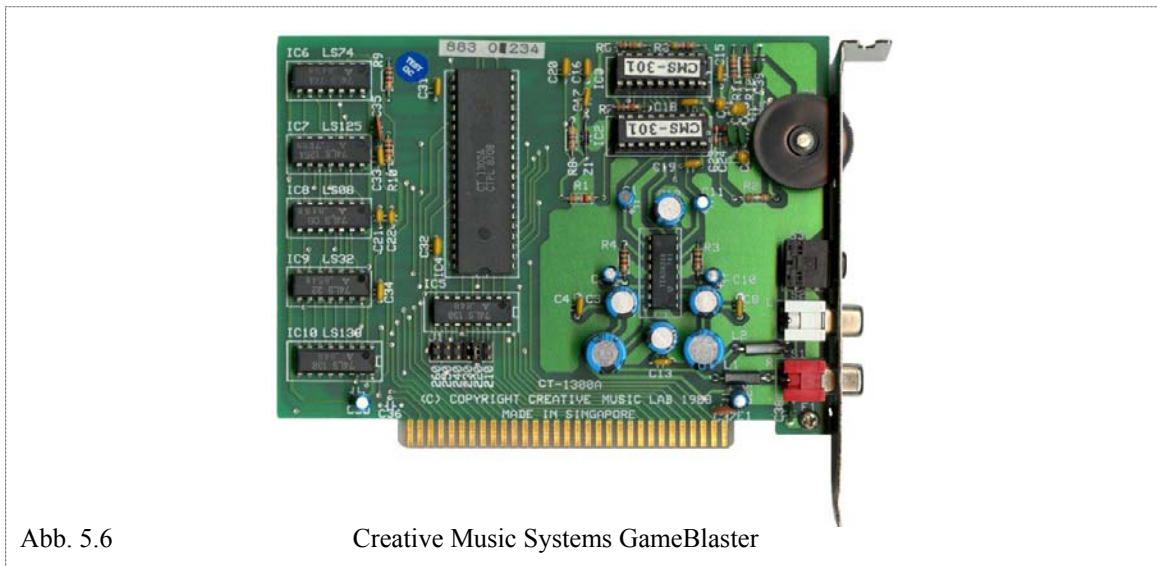


Abb. 5.6

Creative Music Systems GameBlaster

6.2.5 Roland LAPC-1 (1988)

Ursprünglich nur als externes Modul unter dem Namen „MT-32“ vermarktet, wagte Roland den Sprung zur PC Karte, und erreichte damit etwas, was vermutlich niemand erwartet hätte. Sowohl im Bundle mit Sierra Spielen, als auch einzeln erhältlich, kam die Karte zwar ohne jegliche eigene Software, aber bot trotzdem einiges: 32 MIDI-Kanäle bei 12 Bit D/A und 32 Khz Mixing und Halleffekt. 128 vordefinierte Instrumente, vor allem aber die Möglichkeit, seine eigenen Instrumente zu laden, machten diese Karte zum Multitalent.

Während einige Hersteller ihre Tracks lediglich von AdLib auf Roland umkonvertierten, ist der Missstand der schlechten Ausnutzung im Gegensatz zu AdLib bei dieser Karte längst nicht so stark vertreten. In Spielen klang die Musikwiedergabe über diese Karte fast immer voll und ausgewogen, je nach Geschick des Komponisten.

All dies hatte jedoch seinen Preis, etwa den damaligen Wert von 7000 Schilling, die nicht jeder zahlen wollte oder konnte, und so kam es leider nur zu einer geringen Verbreitung der Karte. Selbst heute ist sie über diverse Online Auktionshäuser eher selten zu haben,

⁴³ vgl. <http://crossfire-designs.de/index.php?lang=de&what=articles&name=showarticle.htm&article=soundcards&page=7>

und wenn, dann ist sie meist nicht unbedingt günstig, und für heutige Maßstäbe klingt die Karte für die reine MIDI - Wiedergabe (denn nichts anderes kann sie) mittelmäßig. Die LAPC basierte auf dem MT-32-Chipsatz, einem externen Synthesizer von Roland. „LA“ steht hierbei für „Linear Algorithmic“ und erklärt sich folgendermaßen: Wavetable spielt im Prinzip nur ein Sample aus dem Speicher in verschiedenen Geschwindigkeiten ab. Eventuell besteht ein Instrument dann noch aus mehreren Layern - eine Überlagerung verschiedener Samples für ein Instrument. LA versuchte dieses Prinzip noch zu verfeinern, indem es Attack, Sustain, Decay und Release einzeln berechnete und überlagerte. So kamen die unterschiedlichen Abspielgeschwindigkeiten nicht so sehr zu tragen, und man erhielt ein sehr getreues Abbild des originalen Instruments. Wenn dann auch noch mit Layering gearbeitet wurde, konnten bis zu 4 Kanäle dafür verwendet werden. Theoretisch war die LAPC-1 (Abbildung 5.7) also nur in der Lage, maximal 8 Instrumente gleichzeitig abzuspielen.⁴⁴



Abb. 5.7

Roland LAPC-1

6.2.6 SoundBlaster, SoundBlaster 16 und AWE 32 (1989 – 1993)

Creative sah schnell ein, dass ihre Sound Game Blaster Serie zum Scheitern verurteilt war. Es fehlte an Support und kaum ein Spiel nutzte wirklich die bereitgestellten Effektkanäle. So tat man sich mit der stetig wachsenden Spieleindustrie zusammen und

⁴⁴ vgl. <http://crossfire-designs.de/index.php?lang=de&what=articles&name=showarticle.htm&article=soundcards&page=7>

erkannte dadurch, dass die Soundkarte neben der Musikwiedergabe auch Samples ausgeben können müsste. Das Ergebnis war, der SoundBlaster.

Der SoundBlaster konnte 22Khz in 8Bit Mono wiedergeben und mit 13Khz aufnehmen. Über dies hinaus war er abwärtskompatibel zum GameBlaster und bediente sich einem neueren OPL2 Chip, wodurch Creative eine ernsthafte Konkurrenz zum bisherigen Marktführer AdLib wurde.

Durch den immer größer werdenden Support des SoundBlasters in aktuellen Spielen, und durch die billige Produktion in Singapur (im Gegensatz: AdLib fertigte seine in Kanada an), war AdLib schnell als Marktführer abgelöst.

Doch war der SoundBlaster, trotz fast 100% Support von damals aktuellen Computerspielen nicht die beste Wahl. So waren bei der Soundwiedergabe oft „Knackser“ zu hören, die entstanden, indem Sounddaten in Blöcken per DMA (Direct Memory Access) zur Karte geschickt wurden. War ein Block am Ende angelangt, so musste man der Karte mitteilen, dass wieder ein Block kommen wird, und gleichzeitig musste man auch wieder dem DMA-Controller diese Situation nahelegen. Dies führte gerade auf langsameren Systemen zu erheblichen Auszeiten, in denen einfach nichts abgespielt wurde und es dadurch zu teils erheblichen Pegelschwankungen bei Wiederaufnahme der Wiedergabe kam und dies durch knackende Geräusche wahrgenommen werden konnte. Später wurde das Problem durch einen DMA Autoinit Mode behoben, welcher der Soundkarte ermöglichte, Sounddaten kontinuierlich und somit störungsfrei entgegenzunehmen.

Aber auch mit Nachfolgemodellen, wie dem SoundBlaster Pro, der mittlerweile auch Stereo wiedergeben konnte, hatten es die Käufer nicht leicht. Vielleicht erinnern sich noch einige an die Option vieler Spiele namens „Reverse Stereo“ (z.B. bei Wing Commander I – IV), die aufgrund eines Hardware Fehlers zweier Revisionen der Sound Blaster Pro Serie zurückzuführen war.⁴⁵

Abbildung 5.8 zeigt einen SoundBlaster in der Version 1.5.

⁴⁵ vgl. <http://crossfire-designs.de/index.php?lang=de&what=articles&name=showarticle.htm&article=soundcards&page=8>



Abb. 5.8

SoundBlaster (Version 1.5)

Gefolgt wurde die SoundBlaster Pro vom SoundBlaster16, mit der Creative einen ihrer größten Erfolge feiern konnte. Der SoundBlaster 16 bot (wie der Name schon besagt) einen 16bittigen DSP und einen OPL3 zur Musikwiedergabe sowie einen ASP (Advanced Signal Processor) für Kompression und Sprachsynthese. Weiters unterstützte die Soundkarte CD Wiedergabe mit 16bit und 44,1 KHz.

Probleme gab es lediglich teilweise bei der Kompatibilität zwischen SoundBlaster 16 und SoundBlaster Pro unterstützen Spielen, wobei teilweise bei SoundBlaster 16 (Abbildung 5.9) unterstützen Systemen lediglich ein Mono Signal den Weg zu den Boxen fand.

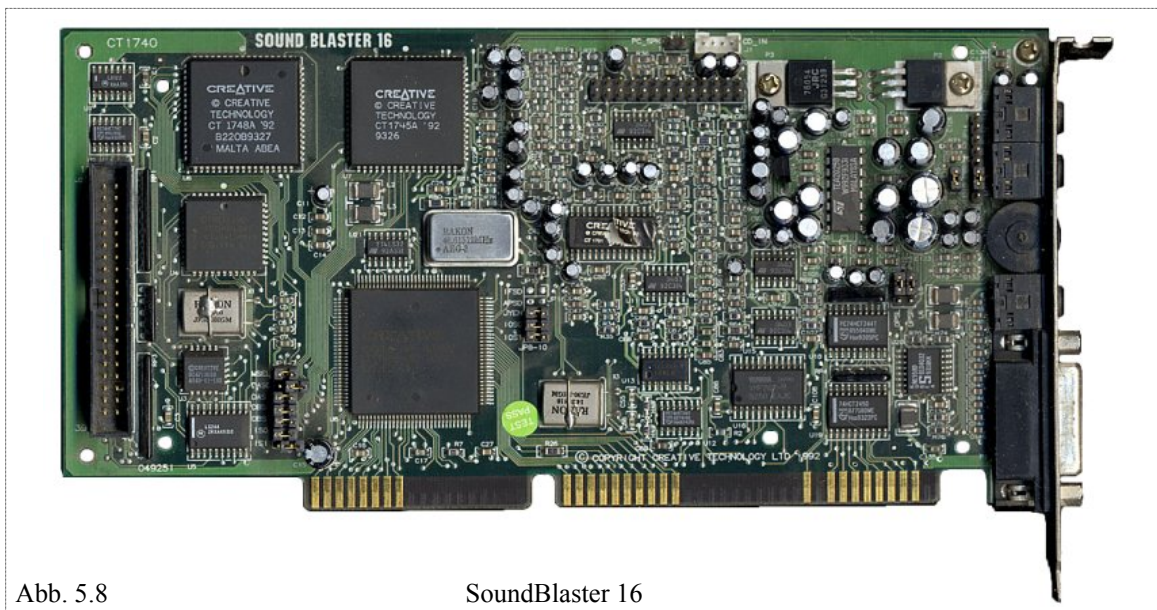


Abb. 5.8

SoundBlaster 16

Angetrieben durch den Erfolg der Gravis Ultrasound Soundkarten boten Creative Labs alsbald Aufsatzboards ("Waveblaster") für ihre SB 16 an, welche sie um einen Wavetable-Synth erweiterten. Das Ergebnis war jedoch klangtechnisch lediglich mittelmäßig und so entschied man ein neues Soundboard herauszubringen. Das Ergebnis war der „Advanced Wave Effects 32“ kurz AWE32. Die Bezeichnung 32 diente auch hier mehr, um dem Verbraucher den Fortschritt nahezulegen. Natürlich arbeiteten die DSPs der Karte auch weiterhin mit 16 Bits, lediglich der EMU 8000 konnte eben 32 Stimmen gleichzeitig verarbeiten.

Im Großen und Ganzen war der AWE 32 (Abbildung 5.9) zwar nur ein „besserer“ SB 16, doch die klanglichen Eigenschaften konnten zumindest Konkurrenten in der gleichen Preislige in die Schranken weisen. Und so stellte die Karte den klanglichen Höhepunkt der ISA-Karten aus dem Hause Creative Labs dar.⁴⁶

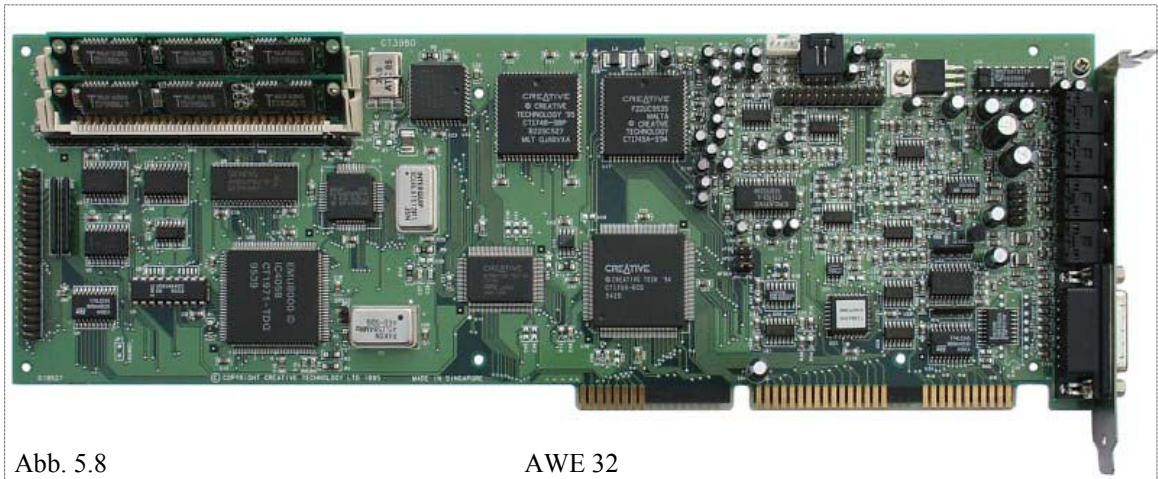


Abb. 5.8

AWE 32

6.2.7 SoundBlaster 64 bis SoundBlaster Audigy 4 Pro (1993 – 2005)

Nachdem sich auch schließlich Advanced Gravis 1995 aus dem Soundkarten Geschäft verabschiedet hatte, entwickelte sich quasi ein Monopol im Bereich von Computerspielsoundkarten rund um Creative Labs und ihrer SoundBlaster Serie. Bis heute findet sich beinahe in jedem Spiele PC eine Soundkarte von Creative Labs, es sei denn, der User benutzt eine Onboard Soundkarte, die direkt auf dem Mainboard verbaut ist, was natürlich meist starke Einbussen in Punkto Klangqualität mit sich bringt.

⁴⁶ vgl. <http://crossfire-designs.de/index.php?lang=de&what=articles&name=showarticle.htm&article=soundcards&page=12>

Durchforstet man die „Einkaufsführer“ von führenden Computerspiele Zeitschriften, finden sich ebenfalls fast nur Produkte von Creative Labs. Ein Beispiel hierzu aus dem Einkaufsführer für Soundkarten (27. April 2005), des aktuell meistgekauften unabhängigen deutschen Computerspiele Magazin Deutschlands, belegt die Vorherrschaft von SoundBlaster Produkten im Bereich des Computerspiele Sounds.⁴⁷ (Tabelle 5.1)

SOUND				
Soundkarten				
1	Soundblaster Audigy 4 Pro 	94 Punkte	250 €	03/05 (0035) 143 800 00 Referenz für Klang und Ausstattung, EAX 4.0
2	Soundblaster Audigy 2 ZS Platinum Pro 	93 Punkte	230 €	12/03 (0035) 143 800 00 toller Klang, umfangreiche Ausstattung, EAX 4.0
3	Soundblaster Audigy 2 Platinum EX  	91 Punkte	200 €	03/03 (0035) 143 800 00 Spitzenklang, sehr gute Ausstattung
4	Soundblaster Audigy 2 ZS 	90 Punkte	80 €	04/04 (0035) 143 800 00 Überragender Klang, erste Wahl für Spieler
5	Soundblaster Audigy 2 	89 Punkte	70 €	10/03 (0035) 143 800 00 Spitzenklang, kann alle Formate

Tab. 5.1

⁴⁷ vgl. <http://www.gamestar.de/hardware/einkaufsfuehrer/index.php?rubrik=sound>

6.3 Aktuelle Techniken und Gestaltungsmittel

Nachdem die Geschichte der PC Soundhardware bzw. von Soundstandards behandelt wurde, ist es nun Zeit, einen näheren Blick auf aktuelle Produkte und 3D Sound Standards im Bereich Technik und Gestaltung zu werfen.

6.3.1 Direct Sound und Direct Music

Bei Direct Sound und Direct Music handelt es sich um zwei APIs (Application Programm Interface), die in Direct X (Multimedia Schnittstelle von Windows), und somit in Windows, direkt integriert sind. Mit Hilfe dieser beiden Schnittstellen lassen sich wiederum neue Audio Engines z.B. für Videospiele implementieren.

Bei Direct Sound handelt es sich um ein Low-Level API, mit dem der Datenfluss von und zur Soundkarte auf Sample Byte Ebene geregelt werden kann. Direct Music ist hingegen dazu ein High-Level API, das beispielsweise .wav oder .mp3 und ähnliches abspielt.

Die wichtigste Eigenschaft einer SoundEngine ist die Fähigkeit, mehrere Sounds simultan abzuspielen, da dies in einem Videospiel am häufigsten passiert. Es wird nur sehr selten ein einzelner Sound zu hören sein, sondern immer ein Arrangement von akustischen Ereignissen. In Direct Sound wird diese Fähigkeit durch einen Primärpuffer und diversen Sekundärpuffern realisiert. Diese Puffer unterstützen nur Daten aus folgenden Kombinationen:

Mono oder Stereo, Sampleraten 11025Hz, 22050Hz, 44100Hz, ...96000Hz und Samplequalität 8Bit, 16Bit, oder 24Bit. Zusätzlich müssen die Daten auch noch linear quantisiert sein. (PCM = Puls Code Modulation, siehe Kapitel 5.3.1.1)

Der Primärpuffer ist immer ein Hardwarepuffer mit fester Länge und wird als Ringpuffer realisiert. Der Sekundärpuffer hingegen befindet sich im Hauptspeicher und kann somit theoretisch beliebig oft erstellt werden bzw. bis zum Kapazitätslimit des Speichers.

Weiters hat dieser eine variable Länge von bis zu maximal 5 Minuten.

Bei der Soundausgabe werden die Sekundärpuffer software- oder hardwareunterstützt gemischt, in den Primärpuffer geschrieben und von dort ausgegeben. Beim Mischen kann es zu einem Überlauf kommen, das sich dann als Clipping (Verzerrung) bemerkbar macht.

6.3.1.1 PCM (Puls Code Modulation)

PCM (Puls Code Modulation) (Abbildung 5.9) ist ein Algorithmus, der beispielsweise bei der Konvertierung in das .mp3 Format verwendet wird. Ein analoges Signal wird vorerst zeitdiskret abgetastet und danach erfolgt die Abtastung der Signalamplitude, um das zeitdiskrete Signal in ein digitales umzuwandeln. Für die Amplitude des Signals wird ein zulässiger Bereich festgelegt und danach in bestimmte Intervalle unterteilt. Dabei muss zuerst ermittelt werden, in welches der Intervalle die jeweilige Amplitude des abgetasteten Signals fällt. Danach wird die Nummer des Intervalls als binäres Codewort gespeichert. Die Genauigkeit ist dabei umso höher, je größer die Anzahl der Intervalle ist, in die der zulässige Amplitudenbereich aufgeteilt wird, und somit steigt auch mit der Anzahl der Intervalle die Qualität des Endproduktes.⁴⁸

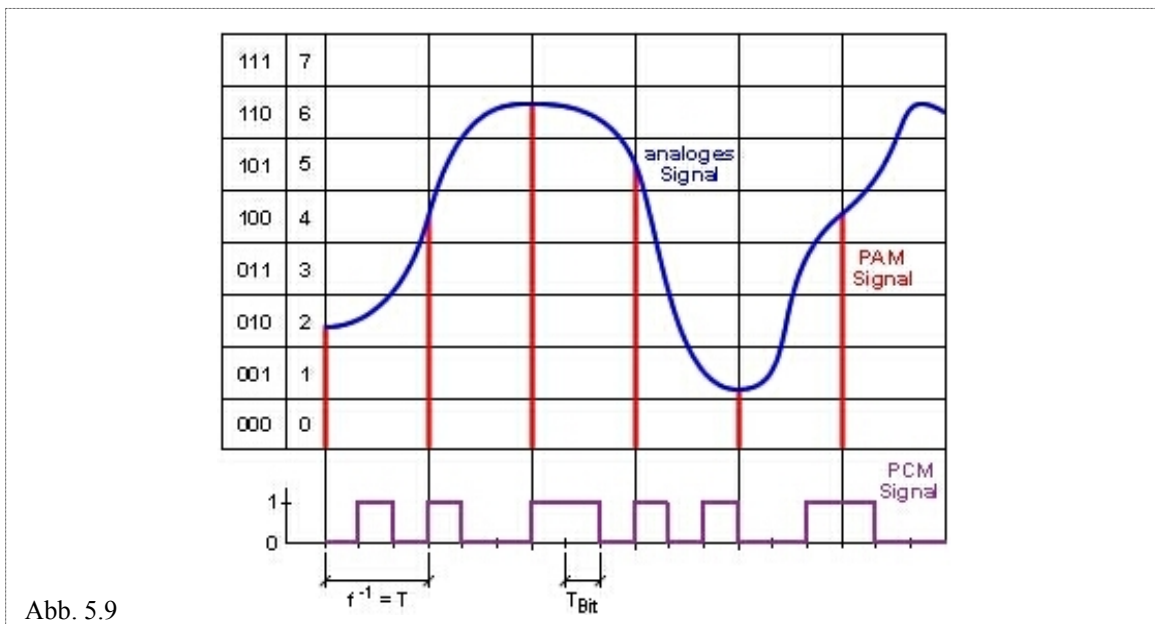


Abb. 5.9

Der Vorteil der Puls Code Modulation liegt in der Störungstoleranz der Übertragung, es muss beim Empfänger durch die binäre Codierung lediglich zwischen einem High- und Low-Signal (0 und 1) unterschieden werden können. Der Nachteil ist ein hoher Bedarf an Bandbreite zur Übertragung. Dieser Nachteil kann allerdings mit Hilfe unterschiedlicher Modulationsverfahren für digitale Signale (fast) wieder wettgemacht werden.

⁴⁸ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.122

6.3.2 Schnittstellen und APIs

Unter Windows gibt es derzeit folgende (Sound)APIs, die eigene Hardwaredreiber verwenden:

1. Windows Multimedia
2. Open AL
3. Aural
4. Direct Sound

Für die Anwendung in Computerspielen ist Windows Multimedia ungeeignet, da die Schnittstelle große Puffer verwendet und somit hohe Latenzzeiten entstehen, die in Computerspielen zu unangenehmen Aussetzern im Sounderlebnis führen würden. Im Gegensatz dazu ist Open AL zwar schnell genug, um in Computerspielen angewendet zu werden, doch ist die Schnittstelle zu schwer zu programmieren und hat sich dadurch auch nie wirklich durchgesetzt. Das wohl zurzeit beste Interface und dadurch auch meist verwendete stellt daher Direct Sound dar.

6.3.2.1 Wrapper

Neben APIs mit eigenen Hardwaredrivers gibt es auch so genannte Wrapper. Diese nutzen bestehende APIs und emulieren und reproduzieren sich meist via Direct Sound. Durch die Emulation lassen sich auch Erweiterungen wie EAX realisieren, auf das später noch näher eingegangen wird. Man könnte Wrapper also als eigenständige Sound Engine Systeme zur Sound Programmierung in Videospielen bezeichnen.

Anschließend sollen einige aktuelle bekannte Wrapper vorgestellt werden.

Das Miles Soundsystem erschien im Jahre 1991 und wurde von John Miles programmiert und herausgegeben.⁴⁹ Miles Soundsystem ist für die Windows, Linux, Mac und Xbox Plattformen verfügbar und ist mit ca. 3200 kommerziellen Spielen wie Warcraft 3, Knights of the old Republic und CounterStrike: Source das wohl am häufigsten verwendete. Negativ fällt hierbei allerdings sicher der hohe Lizenzpreis auf.

⁴⁹ vgl. <http://www.radgametools.com/miles.htm>

Ein weiterer bekannter Wrapper ist Galaxy Audio, das bei Unreal und Unreal – Enginebasierten Spielen (wie Unreal Tournament) zum Einsatz kam. Bei Unreal2 wurde allerdings auf OpenAL gesetzt, was zum fast vollständigen Aussterben von Galaxy Audio im Spielbereich führte.

Game Code und RenderWare von Sensaura und Renderware stehen für zwei Wrapper, die auf Konsolen wie der Playstation2 ,der Xbox und dem Game Cube aber auch für den PC verfügbar sind. Allerdings wird auch hier bei beiden Produkten ein hoher Lizenzpreis verlangt.⁵⁰

FMOD ist ein weiterer Wrapper, der sich vor allem durch seine hohe Anzahl an unterstützten Plattformen auszeichnet. FMOD ist für Windows, PDA, PS2, Xbox, Game Cube, Mac OS9/OSX, Unix zu haben und erkennt 12 Compiler wie Microsoft Visual Studio 5 & 6 sowie .NET oder Delphi. Ebenso wird 2D und 3D Sound (mit EAX) unterstützt.

6.3.3 EAX

EAX (Environmental Audio Extensions) ist wohl eine der bekanntesten 3D Sound Schnittstellen.

EAX ist ein von Creative Labs entwickeltes System, das eine Erweiterung für das Direct Sound API darstellt, um Umgebungsgeräusche in Computerspielen so real wie möglich erscheinen zu lassen. Da jedes Geräusch in verschiedenen Räumen durch Reflexionen an Wänden oder Decke verschieden klingt, müsste man bei einem Computerspiel theoretisch ein und denselben Ton unter verschiedenen Bedingungen aufzeichnen. Um diesen enormen Arbeits- bzw. Speicheraufwand zu umgehen, wird der Ton nur einmal aufgezeichnet und das Spiel teilt EAX mit, in welcher Umgebung dieses Geräusch stattfinden soll. EAX berechnet, wie der Sound in so einem Raum klingen würde, und gibt diesen dann an die Lautsprecher weiter.⁵¹

EAX1 wurde 1997 ins Leben gerufen. Mit diesem ist es möglich, drei Parameter für den Hörer, also den Spieler, und einen Parameter für die Schallquelle zu definieren. Parameter

⁵⁰ vgl. Bernd-Simon Dengel, 2005, S.12ff

⁵¹ vgl. <http://www.geschi.de/glossar/geschi/EAX.html>

sind beispielsweise die Nachhallzeit, die Hallintensität, Absorption oder die Streuung des Schalls. (siehe: Kapitel 5.3.7.3)

Diese geringe Anzahl von Parametern reichte aber ziemlich schnell nicht mehr aus und EAX2 wurde entwickelt.

Mit EAX2 ließen sich 14 Parameter für den Hörer und 13 Parameter für die Quelle definieren. EAX1 und EAX2 werden von der SoundBlaster Live! Reihe unterstützt.

2001 wurde EAX Advanced HD (EAX3) entwickelt und herausgegeben, das von den Soundblaster Audigy Soundkarten unterstützt wird und somit den Nachfolger zur Live! Reihe darstellt.⁵²

2003 kam schließlich der EAX Advanced HD v.4 (EAX4) Standard heraus, wobei Soundkarten die diesen Standard unterstützen über 11 Studioeffekte (z.B. EQ, Chorus, Delay...) sowie Multieffektslots verfügen. EAX unterstützt allgemein die Soundausgabe auf bis zu 8 Lautsprecher (7.1).

Abbildung 5.10 bzw. 5.11 zeigen zwei typische Spielsituationen, in denen die zur Verfügung stehenden Parameter von EAX3 bzw. EAX4 voll ausgenutzt werden können. In Abbildung 5.10 sind drei Monster im Umfeld des Spielers. Alle drei sind zu hören, jedoch nur eines von der Position des Spielers aus zu sehen. Das zweite Monster ist nicht mehr zu sehen, jedoch sind die beiden Räume des Spielers und des Monsters durch eine Tür miteinander verbunden. Das dritte Monster steht hinter einer Wand. Dieser Raum ist nicht mit dem Raum des Spielers verbunden. Mit Hilfe von EAX3 werden jedem Monster entsprechende Distanz Parameter zugewiesen, je nach dem, wie sich ihre Position zum Spieler verhält, um beim Spieler anders zu klingen.⁵³

⁵² vgl. Bernd-Simon Dengel, 2005, S.10ff

⁵³ vgl. <http://www.digit-life.com/articles2/sound-technology/index.html>

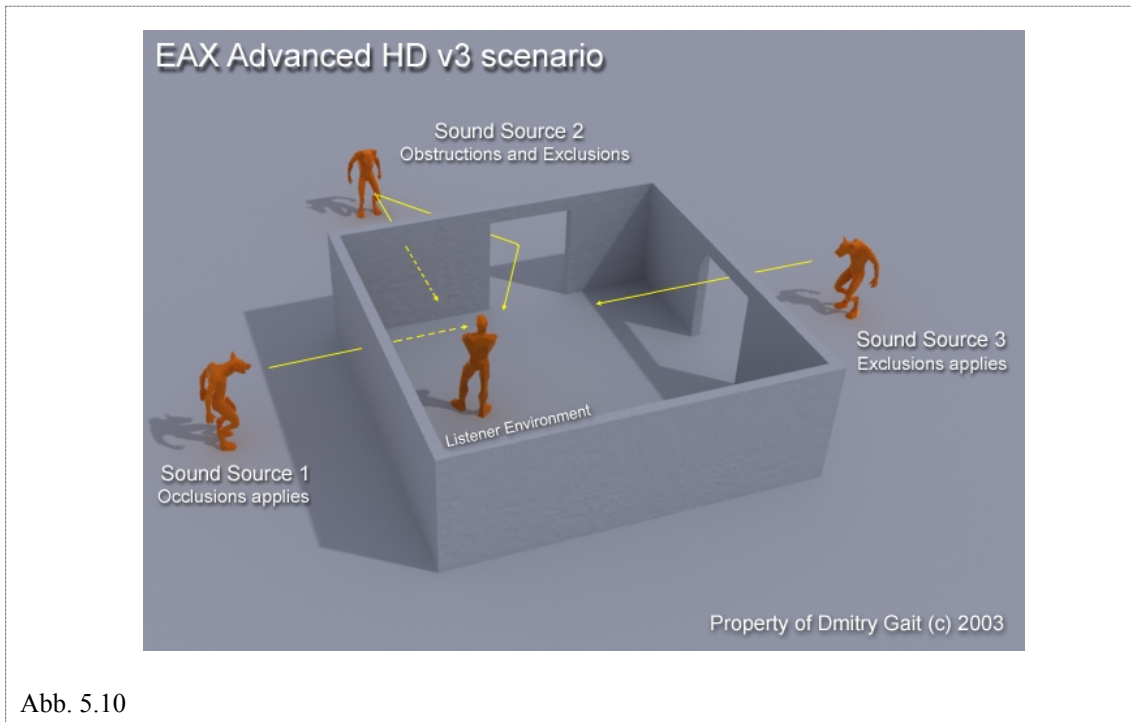


Abb. 5.10

EAX4 bietet zudem noch die Möglichkeit, jedem Monster zusätzlich noch einen Raum Parameter mitzugeben. Das Resultat ist, dass der von den Monstern produzierte Sound viel realistischer klingt, da der Raum in dem das jeweilige Monster steht, die Geräusche zusätzlich noch beeinflusst und verändert (Abhängig von der Größe, Beschaffenheit, Höhe usw.). Der Sound klingt daher so, als ob er wirklich in verschiedenen anderen Räumen entstehen würde, wobei im Gegensatz bei EAX3 lediglich der Eindruck entsteht, der Sound entstehe in einem einzelnen anderen Raum. (Abbildung 5.11)

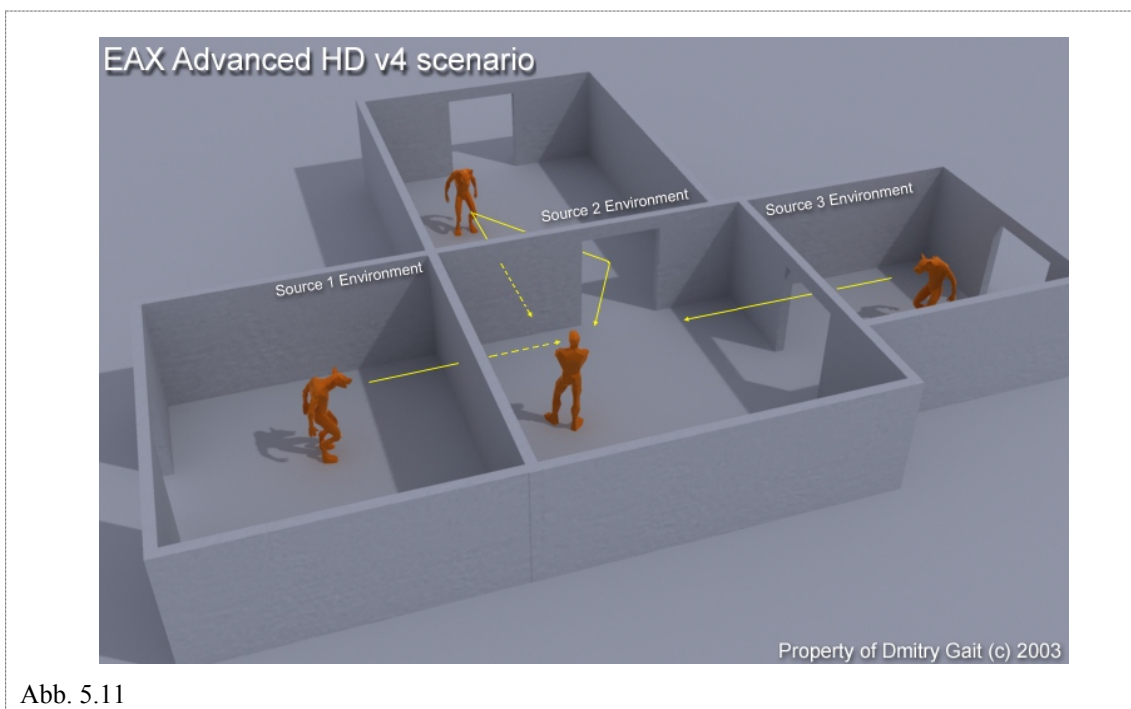


Abb. 5.11

6.3.4 Soundtracks und Effekte

Ganz allgemein kann man zwei Arten von Sound in Videospielen unterscheiden: Soundtracks und Effekte.

Soundtracks haben dieselbe Funktion wie beispielsweise die Hintergrundmusik in Filmen. Sie verdeutlicht einerseits die einer Umgebung innewohnenden Atmosphäre, andererseits lassen sich mit Musik auch Stimmungen ideal ausdrücken und Situationen beschreiben.

Beispiele hierfür wäre z.B. die anmutenden doch auch wieder gefahrbergende Hintergrundmusik von FarCry, in der der Spieler auf tropischen Inseln gegen eine ganze Horde von Söldner antreten muss. Ein weiteres gutes Beispiel für so genannten Ambient Sound sind auch die Rythmen von Max Payne2: The Fall of Max Payne, in denen ein heruntergekommener Polizist den Tod seiner Familie rächt, sich dadurch in immer mysteriösere Verschwörungen verstrickt, in eine Profikillerin verliebt und die daraus entstehende Atmosphäre direkt an einen „Film Noir“ mit tragischem Ende erinnert. Früher wurde der Soundtrack in einem Spiel einfach über das Spielgeschehen gelegt, ohne darauf zu achten, in welcher Situation sich der Spieler gerade befindet. Heutzutage achten jedoch die Sounddesigner immer mehr darauf, dass sich der Soundtrack der gerade vorliegenden Situation anpasst. So ist beispielsweise bei Doom3 minutenlang, bis auf die Schritte der Spielfigur auf metallenen Boden, nichts zu hören, bis auf einmal ein Monster mit lautem Getöse durch die Tür vor dem Protagonisten bricht. In einer solchen Situation sind dann nicht nur die Soundeffekte, wo wir bereits bei der zweiten Sorte von akustischen Ereignissen in Videospielen wären, zu hören, sondern es ändert sich situationsspezifisch auch der Soundtrack.

Effekte sind kurze, direkt ans Spielgeschehen eingebundene Audiosequenzen. Diese können ebenfalls zur Erzeugung einer gegebenen Atmosphäre verwendet werden, wie es bei Wellenrauschen, summenden Maschinen oder zirpenden Grillen der Fall ist. Viel wichtiger ist jedoch ihre Bedeutung zur Vermittlung konkreter Informationen. Bei der Sprachwiedergabe ist dies offensichtlich, aber auch Status und Positionsinformationen können akustisch übermittelt werden. Die Handhabung von Benutzeroberflächen aller Art im Spiel, wie Menüs, die Bewegungssteuerung, Codeschlösser oder Abzugshebel, wird zudem durch akustisches Feedback stark verbessert.

Dementsprechend ist beim Einsatz von Soundeffekten eine möglichst präzise Kontrolle in Abhängigkeit vom Spielgeschehen gewünscht, während die klangliche Qualität meist

zweitrangig ist, was jedoch meiner Meinung nach in keiner Weise gutgeheißen werden kann.⁵⁴

6.3.5 Aspekte der Soundentwicklung und Bibliotheken

Es fällt auf, dass die unterschiedlichsten Genvertreter von Videospielen weitgehend dieselben Anforderungen an die verwendete Musik- und Effektwiedergabe haben, während Grafik und Simulation meist hochspezifische Lösungen benötigen. So wird beispielsweise für jeden dritten neuen First Person Shooter eine eigenständige 3D - oder Physik Engine entwickelt bzw. weiterentwickelt, wobei im Gegensatz dazu im Bereich des 3D Sound Designs auf standardisierte Sound Engines zurückgegriffen wird. Beide Methoden haben natürlich ihre Vor- und Nachteile. So können mit Hilfe neuer Engines, neue Möglichkeiten in Design und Technik gefördert werden, und das Produkt kann sich eventuell auf Grund der verbesserten audiovisuellen Präsentation von der Konkurrenz abheben. Doch bieten natürlich auch neue Techniken neue Risiken und so kann es auch im Gegenzug zu eventuellen Problemen kommen, die dem Produkt schaden, und die mit einer altbewährten Technik nicht passiert wären.

Des Weiteren ist die akustische Wiedergabe weitgehend unabhängig vom Rest des Spielecodes, so dass sich dieser leicht separat entwickeln lässt.

Dies führte schon früh zu der Entwicklung standardisierter Bibliotheken zur Audiowiedergabe, die nicht selten von darauf spezialisierten Fremdfirmen übernommen werden konnte. Eine weitere Konsequenz dessen war, dass die Musik und die Effekte selbst meist auch von Dritten erstellt werden, so dass sich die Spieleentwickler ganz auf ihre Kerngebiete konzentrieren können.⁵⁵

6.3.6 Audiokompression

Um den enormen Speicherbedarf, der bei Soundbibliotheken meist anfällt, zu verringern, gehören auch Kompressionsverfahren zum Leistungsumfang jeder besseren Audiobibliothek. Im Gegensatz zu Verfahren wie ZIP oder RAR liegt der Schwerpunkt

⁵⁴ vgl. Tibor Schütz, 2003, S.2

⁵⁵ vgl. Tibor Schütz, 2003, S.3

hierbei jedoch bei Verfahren, die sich mit wenig Speicher schnell zur Laufzeit an beliebigen Punkten im Datenstrom anwenden lassen, und nicht auf exakte Reproduktion der Quelldaten spezialisiert sind.

Leicht in Hardware implementierbare Formate sind vor allem ADPCM. (Adaptive Differentielle Puls Code Modulation) Dieser Algorithmus betrachtet anstelle von absoluten Werten nur die Differenz benachbarter Samplewerte. (Mehr dazu im folgenden Kapitel 5.3.6.7) Zur weiteren Datenverringering wird dabei noch über die vorherigen Werte extrapoliert.

uLaw und aLaw setzen dagegen, statt einer linearen, eine logarithmische Diskretisierung ein, so dass bei großen Amplituden keine übermäßig feine Abtastung anfällt.

Beide Formate erreichen je nach Qualität Kompressionsraten von 50-75% und eignen sich speziell für Effekte.

In aktuellen Spielen heutzutage kommen hauptsächlich Sounddateien im .wav bzw. mp3 (MPEG1 Audio Layer3) Format vor. Vorteile sind im Fall von .mp3 Dateien der relativ geringe Speicherverbrauch, doch gibt es auch hier einige Nachteile zu berücksichtigen. Da beim .mp3 Format alle nicht relevanten Höhen und Tiefen, die das menschliche Gehör ohnehin nicht wahrnehmen kann, entfernt wurden, um die Speichergröße möglichst klein zu halten (bis zu 90% Speicherreduktion), eignet sich diese Art der Kompression vor allem für Musik und Sprache. Für allgemeine Effekte eignet sich jedoch das Verfahren weniger, da durch die Nachbearbeitung beim Mischen das angewendete psychoakustische Modell nicht mehr gültig ist.

6.3.6.1 ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation)

Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM), auch Delta Pulse Code Modulation genannt, ist eine komprimierende Codierung für ein Audiosignal, das über ein schmalbandiges Medium übertragen werden soll. Die Ausgangsdatenrate kann dabei dynamisch zwischen 64 kbit/s und 16 kbit/s angepasst werden.

Der Algorithmus ist eine Puls-Code-Modulation mit Vorhersagefunktion. Das heißt der Code versucht innerhalb des nächsten Abschnittes den weiterführenden Signalverlauf vorherzusagen. Für die Quantisierung des Signals im nächsten Zeitschritt müssen daher nur die Differenzwerte zwischen prognostiziertem und tatsächlichem Signal verwendet werden. Durch diesen Vorgang müssen nur wenige Bits zur Speicherung der Information

verwendet werden, wodurch eine hohe Kompressionsrate entsteht und sich z.B. auch eine schmalere Bandbreite realisieren lässt.

6.3.7 Mehrkanalton

Mehrkanalton ist im Kino seit Jahren etabliert und ist durch die DVD heutzutage auch für Heimanwender durchaus interessant. Durch die technische Weiterentwicklung bei Soundkarten und Soundstandards beim Personal Computer ist es mittlerweile auch möglich, Videospiele mit vollem Surround Sound zu genießen.

Ziele des Mehrkanaltons bei Videospielen ist natürlich primär die Verdichtung der Atmosphäre und die Ausnutzung des menschlichen Ohres, Sinneseindrücke aus allen Richtungen wahrnehmen zu können, wodurch eine möglichst wirklichkeitsgetreue Abbildung des fiktiven Szenarios erzielt wird.⁵⁶ Die Motivation, die hinter Mehrkanalton steht, dürfte somit klar sein.

6.3.7.1 Wiedergabe von Raumklang / Mehrkanalton

Es braucht zwei Bestandteile, um bei Videospielen ein räumliches Klangbild zu simulieren: Die Positionierung von Schallquellen in einem 2- oder 3- dimensionalen Raum, als auch die Nachbildung der akustischen Charakteristik der Umgebung (z.B. EAX).

Zudem gibt es noch verschiedene Hardware technische Umsetzungen, um ein räumliches Klangbild darstellen bzw. erstellen zu können. Die bekanntesten und interessantesten sollen im Folgenden nun kurz vorgestellt werden.

6.3.7.1.1 Kunstkopfstereophonie, Virtual Surround

Wie bereits besprochen erfolgt die Ortung von Schallquellen anhand der absoluten Lautstärke, der Lautstärke- und Phasendifferenz sowie der Frequenzcharakteristik an beiden Ohren. (siehe: Kapitel 4.4) Demnach genügen zwei Schallwandler, um ein räumliches Klangbild zu vermitteln.

⁵⁶ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.151

Dies wurde bei der Kunstkopfstereophonie zur Aufnahme mit Erfolg praktiziert. Der Denkansatz ist hierbei, das menschliche Gehör nachzubilden, in dem zwei geeignete Mikrofone in einen künstlichen Kopf eingesetzt werden, welcher den wirklichen Menschenkopf am Ort der Aufnahme ersetzt. Das Ergebnis ist, dass der aufgenommene Raum mit allen darin befindlichen Schallquellen und deren Reflexionen in ähnlicher Weise auf zwei Mikrofone verteilt werden. Zudem entstehen je nach Schalleinfallswinkel der Signale typische Reflexionen am Kopf und den Ohren, wobei z.B. von hinten kommende Schallanteile anders bewertet werden, was den 3D-dimensionalen Höreindruck ermöglicht. Wichtig ist an dieser Stelle das Verständnis dafür, dass diese so generierten Signale möglichst direkt in den Gehörgang geleitet werden müssen. Eine Wiedergabe über Lautsprecher ist zwar möglich, führt aber nicht zum richtigen bzw. gewünschten Klangbild. Signale, die über Lautsprecher wiedergegeben werden sollen, müssen daher gänzlich anders aufgenommen und gemischt werden.⁵⁷

Abbildung 5.12 zeigt ein Beispiel für einen Kunstkopf mit eingebauten Mikrofonkapseln in den Ohren.



Abb. 5.12

⁵⁷ vgl. <http://www.studio96.de/art020612%20kunstkopfaufnahmen.html>

Virtual Sound ist der Versuch, mit nur zwei Lautsprechern einen 5.1 ähnlichen Raumklang zu erzielen. Natürlich ist dies nur begrenzt möglich und stellt somit eine technisch vereinfachte Form von Dolby Digital Surround Sounds dar.

Bei Virtual Sound übernehmen die beiden Front Lautsprecher (also die normalen Stereo Boxen) die Klangsystematik der Rear Lautsprecher und der Center Box. Dabei übernehmen sie auch die Klangeffekte der restlichen Boxen, und um einen Raumklang zu simulieren, wird das Stereo-Bild schließlich frequenzabhängig aufgeweitet.

Vorteile dieses Systems sind die geringen Anschaffungskosten sowie die platz sparende Aufstellung der Boxen Anordnung.

Nachteile ergeben sich ganz klar durch die fehlenden Rear Boxen bzw. den Center und den Subwoofer, wodurch das Klangerlebnis eines richtigen 5.1 Boxensystems nur näherungsweise erreicht werden kann.

Trotzdem unterstützen heutzutage viele Computerspiele die Virtual Surround Option, um auch den Besitzern von Stereo Sound Systemen eine bessere akustische Präsentation zu ermöglichen.

6.3.7.1.2 Dolby Surround

Technisch ist Dolby Surround ein analoges Mehrkanal-Tonsystem, das mit Hilfe einer Matrixkodierung vier Tonkanäle in zwei Tonspuren unterbringt. Die beiden zusätzlichen Kanäle sind keine vollwertigen Tonkanäle, sondern sind nur für Effekte und Akzente gedacht. Der mittlere Kanal wird dabei aus denjenigen Signalanteilen erkannt, die auf den beiden bestehenden Front Kanälen gleich stark vertreten sind, während der Effekt-Kanal mittels einer Phasenumdrehung (das Signal wird links und rechts genau umgekehrt aufgezeichnet) kodiert ist.

Zusätzlich ist der Effekt-Kanal nur in einem begrenzten Frequenzbereich nutzbar, um Verfremdungen der Signalübertragung in höherfrequenten Bereichen zu vermeiden.

Dolby Surround Signale können prinzipiell auch in jeder Art von qualitativ hochwertigem Stereo-Übertragungssystem übertragen werden, z.B. im Radio, Fernsehen, auf CDs, VHS Kassetten, Schallplatten oder Musikkassetten.

Dolby Surround besteht aus: Front links, Front rechts, Mittensignal und Surround links und rechts (3/1) wobei Surround links und rechts identisch sind. Ein LFE Kanal (Low Frequency Effects Kanal oder auch Subwoofer) ist nicht vorhanden.

Dolby Surround ist abwärtskompatibel zu Stereo, d.h. man kann ein Dolby Surround Signal problemlos auf jedem Stereo-Gerät wiedergeben.

Im professionellen Kino- und Studiobereich heißt Dolby Surround Dolby Stereo, hier wird die Dekodierung über einen Spezialchip erledigt. Dieser Chip hielt nach einiger Zeit auch unter der Bezeichnung Dolby Surround Pro Logic Einzug in den Heimgebrauch. Diese Technik findet in der Version 2 (Dolby Surround Pro Logic2) z.B. bei Nintendos aktueller Spielekonsole Game Cube seinen Einsatz.

Dolby Surround wurde von der britischen Firma Dolby Laboratories Inc. entwickelt und wird von diesen lizenziert.⁵⁸

6.3.7.1.3 5.1 / 6.1 / 7.1 Surround Sound

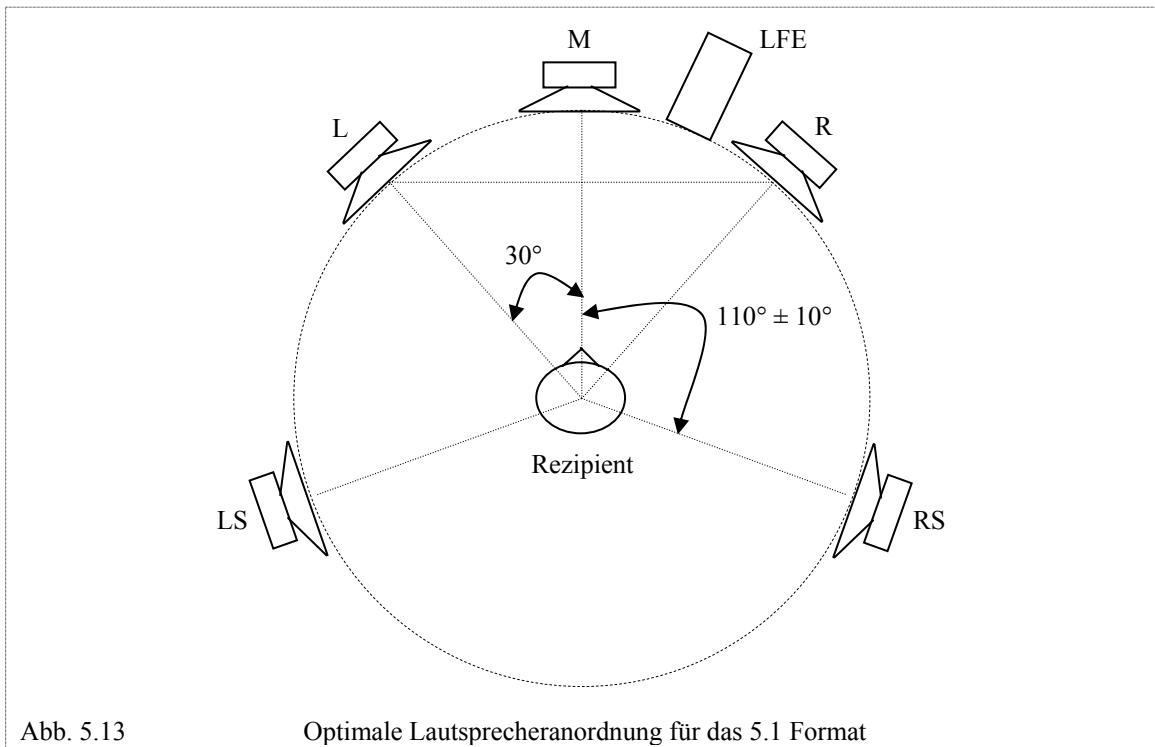
Durch die Verwendung von vier und mehr Lautsprechern in einer Ebene ist eine echte 2D Positionierung möglich. Die konkrete Anzahl an Lautsprechern ist variabel, die Verteilung der Signale kann vom API oder der Hardware transparent erledigt werden. Bei Computerspielen ist aktuell eine 5.1 Lösung absolut ausreichend, da zurzeit fast keine Videospiele am Markt sind, die 6.1 oder 7.1 unterstützen, obwohl sich dieser Zustand mit Sicherheit in absehbarer Zeit ändern wird.

5.1 bedeutet fünf Boxen (Links, Mitte, Rechts, Hinten Rechts, Hinten Links) und ein LFE, auch Subwoofer genannt.

Um eine möglichst gute Surround Sound Wiedergabe erleben zu können, muss neben einem qualitativ hochwertigen Soundsystem auch auf die Raumakustik und eine korrekte Anordnung der Boxen geachtet werden. (Abbildung 5.13)⁵⁹

⁵⁸ vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Dolby_Surround

⁵⁹ vgl. Hannes Raffaseder, 2002, S.156



Natürlich können weder Tonformate oder Aufzeichnungsverfahren bzw. eine exakte Aufstellung der Lautsprecher eine optimale Tonwiedergabe garantieren.

6.3.7.2 Direct Sound 3D

Die besondere Herausforderung bei Surround Sound in Videospielen ist die Verarbeitung der Signale. So müssen die Soundinformationen, wo sich gerade eine Schallquelle im Raum befindet, in Echtzeit berechnet werden und an die entsprechende Box geschickt werden. In der Konsolen Welt ist lediglich die Konsole von Microsoft, die Xbox, in der Lage, 5.1 Sound in Echtzeit wiederzugeben.

Die Berechnung der 3D Sound Information wird immer von einem entsprechenden API übernommen. (siehe: Kapitel 5.3.2)

Zur Berechnung der Wiedergabeposition einer Schallquelle muss sowohl die Position, als auch die Orientierung des Hörers im 3dimensionalen Koordinatensystem bekannt sein. Ebenso wird die Position der Schallquelle benötigt.

Für Dopplereffekte beispielsweise wird darüber hinaus die Geschwindigkeit der Quelle in absoluten Angaben benötigt. Da APIs nur die Schallausbreitung, nicht aber die Bewegung der Schallquellen, berechnen, müssen bewegte Schallquellen entweder regelmäßig in

Position und Geschwindigkeit aktualisiert werden, oder durch eine zeitliche Folge mehrerer solcher Schallquellen nachgebildet werden.

Viele Schallquellen haben eine spezielle, nicht kugelförmige Abstrahlcharakteristik.

Diese kann mit Abstrahlkegeln nachgebildet werden.

Keine physikalische, sondern eine technische Bedeutung besitzt die Angabe der minimalen und der maximalen Distanz. Mit diesen lässt sich die absolute Lautstärke der auf den Dynamikumfang des Samplingverfahrens angepasste Effekte nachbilden. Dabei kennzeichnet die minimale Distanz die Entfernung, ab der ein Effekt seine volle Lautstärke erreicht hat, während die maximale Distanz angibt, ab wann ein Effekt unhörbar wird.⁶⁰ (Abbildung 5.14)

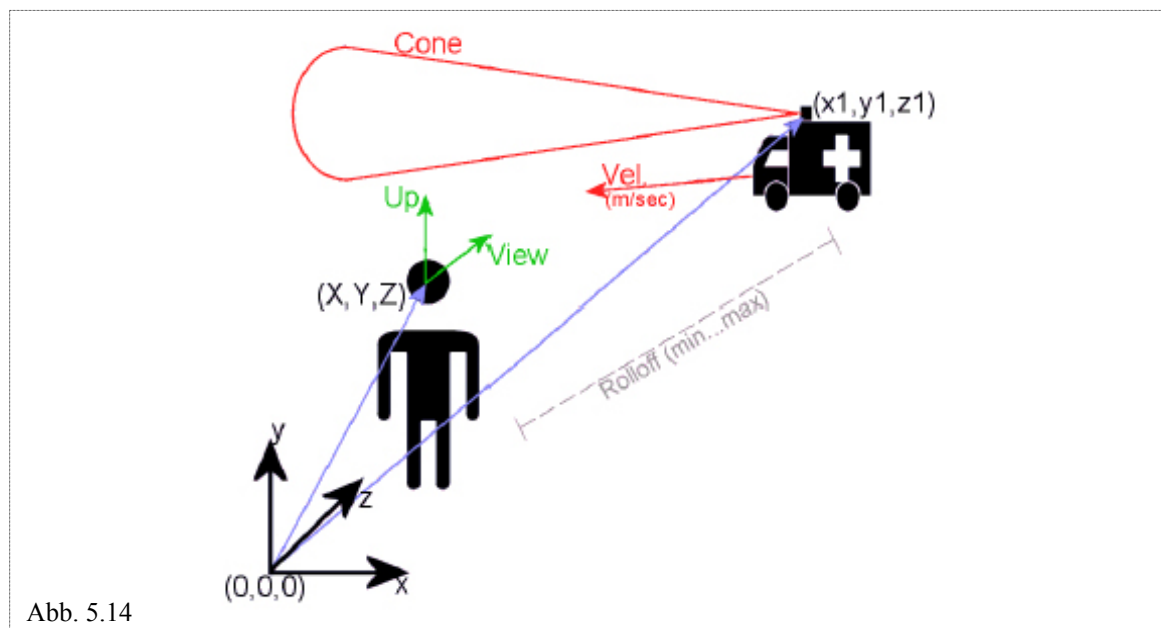


Abb. 5.14

6.3.7.3 3D Sound Effekte

Im Folgenden sollen nun einige Effekte vorgestellt werden, die bei der Surround Sound Gestaltung von Computerspielen eine wichtige Rolle spielen und von gängigen 3D Sound Engines unterstützt und dargestellt werden können.

⁶⁰ vgl. Tibor Schütz, 2003, S.16

6.3.7.3.1 Distanzeffekte

Eine wichtige Funktion einer 3D Audio Engine sind die Distanzeffekte. Diese werden meist durch Grenzüberschreitung, in Form von Kreisen, realisiert. Überschreitet eine Schallquelle einen Grenzkreis, so wird das Signal verstärkt bzw. abgeschwächt. Die Verstärkung bzw. Abschwächung sollte logarithmisch erfolgen, da dies dem menschlichen Gehör entspricht. (Die Amplitude von elektrischen und akustischen Signalen wird üblicherweise in Dezibel (dB) angegeben. Dabei ist zu beachten dass es sich um ein logarithmisches Maß handelt: Eine Erhöhung um 6dB entspricht einer Verdoppelung der Amplitude.) Des Weiteren sollten unterschiedliche Schallquellen auch unterschiedliche Grenzkreise haben können, da beispielsweise in einem Spiel eine Fliege in 15m Entfernung nicht mehr hörbar sein sollte, ein Flugzeug mit demselben Abstand jedoch schon.⁶¹

6.3.7.3.2 Dopplereffekt

Der so genannte Dopplereffekt entsteht, wenn sich eine Schallquelle schnell bewegt. Falls sich die Schallquelle auf einen zu bewegt, werden die Schallwellen gestaucht. Als Folge davon erhöht sich die Signalfrequenz, und das Signal klingt höher. Analog dazu werden bei einer Bewegung vom Hörer weg die Schallwellen expandiert und das Signal klingt tiefer. Dieser Effekt ist besonders bei einem sich vorbeibewegenden Objekt, wie beispielsweise einem Rettungswagen mit eingeschaltetem Signalhorn, gut wahrzunehmen. In Spielen lassen sich Dopplereffekte durch schnelleres bzw. langsames Abspielen einer Sounddatei realisieren bzw. wird die Berechnung von einer 3D Sound Schnittstelle wie EAX übernommen.⁶²

6.3.7.3.3 Absorption

Ein weiterer Effekt, der eine 3D-Soundengine realistisch gestaltet, ist Absorption. Absorption wird dann bemerkbar, wenn sich zwischen Schallquelle und Schallempfänger

⁶¹ vgl. Bernd-Simon Dengel, 2005, S.9

⁶² vgl. Bernd-Simon Dengel, 2005, S.9

ein Hindernis befindet. Die Absorption ist abhängig vom Material des Hindernisses, das auch aus Luft bestehen kann (siehe: Distanzeffekte), sowie dessen Dicke. Um Absorption in Spielen zu realisieren, gibt es zwei verschiedene Ansätze, Wavetracing und EAX, wobei sich die Wavetracing Technik nicht wirklich durchgesetzt hat, da die Berechnung des Klangbildes sehr rechenaufwändig ist, und höhere Reflexionen nötig sind, um einen realistischen Räumlichkeitseindruck zu gewinnen.

Zusätzlich zum direkten Klang kann man auch die Reflexionen mittels einer Absorption dämpfen. Sind beispielsweise in einem Computerspiel Schallquelle und Schallempfänger in zwei verschiedenen Räumen, so wird der direkte Klang und die Reflexionen gedämpft. Sind Schallquelle und Schallempfänger im gleichen Raum, jedoch befindet sich ein Hindernis zwischen beiden, so wird nur der direkte Klang gedämpft, nicht jedoch die Reflexionen. Dieses Szenario nennt man Versperrung.

Schließlich ist noch das Szenario denkbar, bei dem Hörer und Quelle sich in unterschiedlichen Räumen befinden und Blickkontakt durch beispielsweise eine Tür haben. In diesem Fall werden nur die Reflexionen gedämpft, nicht aber das direkte Signal. Um die genannten Szenarien zu realisieren muss man das geometrische Modell eines Spieles auswerten. Für diese Art der Auswertung bietet sich das Kollisionsmodell an, da es sowieso schon vorhanden ist bzw. sein muss. Zusätzlich sind dann noch die Materialeigenschaften, die den Klang beeinflussen, zu spezifizieren.⁶³

6.3.8 Blick in die Zukunft

Am 10.05.2005 stellte Creative Labs den Nachfolger Chip der erfolgreichen Audigy Reihe, genannt X-Fi, vor.

Creative gibt die Rechenleistung des passiv gekühlten X-Fi mit 10.340 MIPS (Million instructions per second) an, womit der Chip sogar einen Pentium 4 560 mit 3,6 GHz (10.224 MIPS) in den Schatten stellt. Im Vergleich dazu schafft der Audigy-Chip gerade einmal 424 MIPS. Laut Creative sollen auf dem X-Fi 51,1 Millionen Transistoren verbaut sein. Ein Pentium 4 1,5 GHz der ersten Generation hat im Vergleich dazu 42 Millionen Transistoren verbaut. Der aktuelle Audigy-Chip besitzt 4,6 Millionen Transistoren.

⁶³ vgl. Bernd-Simon Dengel, 2005, S.9

Allerdings sollte man dabei beachten, dass es sich bei dem X-Fi um einen programmierbaren DSP (Digital Signal Processor; Ein DSP-Prozessor ist ein spezieller Chip, der sinusförmige Signale [z.B. Sprache und Musik] durch mehrfaches Abtasten [Sampling] digitalisiert. Er wird eben z.B. in Soundkarten eingesetzt) handelt.⁶⁴

Diese Leistung des X-Fi-Prozessors wird laut Creative Labs durch eine neuartige Architektur erreicht, auf die die Firma bereits ein Patent angemeldet hat. Diese neuartige Chip Architektur wird als so genannter „Audio Ring“ bezeichnet, bei dem jedes Verarbeitungselement (wie Filter, Mixer, Audio-I/O) Audiodaten aus dem Signalstrom herausnehmen und wieder in den Signalstrom einfügen kann und dadurch, laut Angaben des Herstellers bis zu 4096 Audiokanäle simultan verarbeitet werden können.

Bei soviel Rechenleistung kann natürlich der Sinn eines solch mächtigen Prozessors auf einer Soundkarte hinterfragt werden. Creative Labs kündigt jedoch mit der Veröffentlichung des X-Fi auch die Einführung von EAX Advanced HD5, also EAX5 an. (siehe: Kapitel 5.3.3)

Mit Hilfe von EAX5 soll es erstmals möglich sein nicht nur die Geräusche der Quelle, sondern auch die aktuelle Umgebung des Spielers in die Soundberechnungen mit einzubeziehen. Ebenso können nun vier statt wie bisher drei Umgebungen gleichzeitig berechnet werden. Was allerdings wirklich interessant zu werden scheint ist die Einbindung von „EAX Voice“ in EAX5.

So spielten Spieler beispielsweise im Internet zwar bislang in einer künstlich geschaffenen Sound Welt, in der sich der Sound von beispielsweise Schusswaffen mehr oder weniger durch die Architektur der virtuellen Welt in Echtzeit veränderte, doch wurden die Stimmen, die über Headsets in das Spielererlebnis eingebunden wurden, bislang immer über die anderen Geräusche gelegt und klangen somit unabhängig von der aktuellen Position des Spielers immer gleich. So war es eben bislang üblich, dass sich Gamer stets in voller Lautstärke hören, selbst wenn sich ihre Spielfiguren in entgegengesetzten Ecken der Spielwelt befinden. Dies soll sich nun mit „EAX Voice“ ändern.

Mit EAX Voice soll die Lautstärke der Stimmen der Mitspieler automatisch der jeweiligen Spielsituation angepasst sein. Nur wer nebeneinander steht, soll sich gut hören können. Stehen die Spielfiguren hingegen weit voneinander entfernt, können sich die

⁶⁴ vgl. <http://www.dascomputerlexikon.de/lexikon/d13.htm>

Spieler nicht hören, oder müssen eben schreien. Letzteres soll wiederum für neue Aspekte sorgen, da der schreiende Spieler wiederum eventuell von Mitgliedern der gegnerischen Mannschaft gehört wird.

Zwar war es schon im 1998 erschienenen 3D Shooter „Delta Force“ möglich, seinem Spielkollegen Sprüche zuzurufen, doch waren diese vorgefertigt, und die Lautstärke des Zurufes war nur von einem Parameter abhängig, da das Spiel zu 99% in freier Umgebung spielte und auf eventuelle Vegetation beispielsweise überhaupt keine Rücksicht genommen wurde bzw. durch fehlende Rechenleistung genommen werden konnte.

Weiters soll sich unter Einsatz des neuen Spiele Sound Standards die Stimme in der Akustik anhand der jeweiligen Position des Spielers verändern und anpassen. Die Stimme eines Spielers, der in einer großen Kathedrale steht, soll sich anders anhören als die Stimme seines Teamkollegen, der in einem engen, weitläufigen Gang steht.

Vorteile der neuen Technologie wären in jedem Fall eine noch stärkere Einbindung des Benutzers in die Virtuelle Welt und die Möglichkeit anhand des Sound Designs, noch bessere Positionsbestimmungen durchzuführen. So würde das genannte Problem in Kapitel 4.4 der Vergangenheit angehören, da sich die beiden Sounds sehr markant bzw. markanter als jetzt, voneinander unterscheiden würden.⁶⁵

⁶⁵ vgl. <http://www.heise.de/newsticker/meldung/59409> bzw.
<http://www.heise.de/newsticker/meldung/59410>

7. Umfrage

Auf den folgenden Seiten findet sich der Fragebogen „Sound Design in Computerspielen“ in derselben Form wieder, wie er auch jedem Teilnehmer der Umfrage zur Verfügung stand.

Aus technischen bzw. ästhetischen Gründen wurde dieser lediglich auf die für Diplomarbeiten von der FH St. Pölten vorgegebene Seitengröße angepasst und skaliert.

Sound Design in Computerspielen

Im Zuge unserer Diplomarbeit an der FH St. Pölten führen wir eine Umfrage zum Thema 'Sound Design in Computerspielen' durch.

Wenn du schon einmal ein Computerspiel verwendet hast, würde ich dich bitten an dieser Umfrage teilzunehmen. Die Angaben bleiben selbstverständlich anonym.

Vielen Dank!

1. Wie alt bist du?

Jahre

2. Geschlecht?

☐ männlich

☐ weiblich

3. Welchen Ausbildungsabschluss hast du erworben?

☐ Lehre bzw. Berufsfachschule,
Handelsschule

☐ Universitäts- oder
Fachhochschulabschluss

☐ Fachschule, Meister-,

☐ Technikerschule, Berufs- oder
Fachakademie

☐ anderer beruflicher Abschluss

- ☐ Matura oder Hochschulreife ☐ keinen beruflichen Ausbildungsabschluss

4. Wie oft verwendest du durchschnittlich Computerspiele?

- ☐ täglich ☐ mehrmals wöchentlich ☐ mehrmals monatlich ☐ mehrmals jährlich ☐ seltener

5. Welches Genre bevorzugst du?

- ☐ Adventure ☐ Jump`n Run
☐ RPG ☐ Beat`m Up
☐ Strategie ☐ 3D Action
☐ Rennsimulationen ☐ Sportsimulationen

6. Wie wichtig schätzt du den Ton bei Computerspielen ein?

- ☐ gar nicht wichtig ☐ eher nicht wichtig ☐ wichtig ☐ sehr wichtig

7. Glaubst du dass schlechtes Sounddesign das komplette Spielerlebnis negativ beeinflussen kann?

- ☐ gar nicht ☐ eher nicht ☐ schon ☐ sicher schon

Die folgenden Frage beziehen sich auf das letzte länger benutzte Computerspiel

8. Wie empfandest du die Atmosphäre des Games?



schlecht



eher schlecht



gut



sehr gut

9. Welche Rolle spielte dabei der Sound?

unwichtig 1 2 3 4 sehr wichtig



10. Wie passend fandest du die Soundeffekte?



unpassend



wenig passend



passend



sehr passend

11. Hatten die Zwischensequenzen einen emotionellen Eindruck auf dich?



keinen



selten



öfters



sehr sogar

12. Wie ausschlaggebend war dabei der Sound?

unwichtig 1 2 3 4 sehr wichtig



13. Wie gefiel dir die Gestaltung der Optionsmenüs?



schlecht



eher schlecht



gut



sehr gut

14. Welche Rolle spielte dabei der Sound?

unwichtig 1 2 3 4 sehr wichtig



15. Wie passend war die (eventl. synchronisierte) Sprachausgabe?



schlecht



eher schlecht



gut



sehr gut

Nenne bitte den Namen eines Computerspiels

16. Welches Computerspiel hat deiner Meinung nach den besten Sound / das beste Sounddesign?

17. Was zeichnet das Sounddesign bei diesem Spiel so aus? (max. 3)

- | | |
|--|--|
| ☐ packender Soundtrack | ☐ gut geskriptete akustische Ereignisse |
| ☐ akustische Schockelemente | ☐ gute Surround Sound Abmischung |
| ☐ abwechslungsreiche bzw. gute (Synchron)Sprecher | ☐ Qualität der SoundFX |
| ☐ spannende akustische Atmosphäre | ☐ Sonstiges |

18. Wenn 'sonstiges' bitte Beschreibung eingeben

Im Folgenden sollst du bitte jenes Spiel auswählen, bei dem deiner Meinung nach das Kriterium am meisten zutrifft:

19. Welches Spiel fällt dir mit dem packendsten Soundtrack ein?

- | | |
|--|---|
| ☐ Act of War | ☐ Max Payne 2: The Fall of Max Payne |
| ☐ Aliens vs. Predator 2 | ☐ Medal of Honor: Pacific Assault |
| ☐ Battle for Middle-earth | ☐ Need for Speed Underground 2 |
| ☐ Brothers in Arms | ☐ Prince of Persia: Warrior Within |
| ☐ Call of Duty | ☐ Pro Evolution Soccer 4 |
| ☐ Command & Conquer: Generals | ☐ Rome: Total War |
| ☐ Counterstrike: Source | ☐ Sacred |
| ☐ Doom 3 | ☐ Sid Meier's Pirates |
| ☐ Far Cry | ☐ The Sims 2 |
| ☐ Fifa Soccer 2005 | ☐ Tom Clancy's Rainbow Six 3: Raven Shield |
| ☐ Final Fantasy XI Chains of Promathia | ☐ Tom Clancy's Splinter Cell: Pandora Tomorrow |
| ☐ Grand Theft Auto: San Andreas | ☐ Unreal Tournament 2004 |
| ☐ Halo 2 | ☐ Warhammer 40k: Dawn of War |
| ☐ Half Life 2 | ☐ World of Warcraft |
| ☐ Knights of the old Republic 2: The Sith Lords | ☐ Sonstiges |

20. Wenn 'sonstiges' bitte Spieletitel eingeben:

21. Welches Spiel fällt dir mit der spannendsten Atmosphäre ein?

- | | |
|--|---|
| ☐ Act of War | ☐ Max Payne 2: The Fall of Max Payne |
| ☐ Aliens vs. Predator 2 | ☐ Medal of Honor: Pacific Assault |
| ☐ Battle for Middle-earth | ☐ Need for Speed Underground 2 |
| ☐ Brothers in Arms | ☐ Prince of Persia: Warrior Within |
| ☐ Call of Duty | ☐ Pro Evolution Soccer 4 |
| ☐ Command & Conquer: Generals | ☐ Rome: Total War |
| ☐ Counterstrike: Source | ☐ Sacred |
| ☐ Doom 3 | ☐ Sid Meier's Pirates |
| ☐ Far Cry | ☐ The Sims 2 |
| ☐ Fifa Soccer 2005 | ☐ Tom Clancy's Rainbow Six 3: Raven Shield |
| ☐ Final Fantasy XI Chains of Promathia | ☐ Tom Clancy's Splinter Cell: Pandora Tomorrow |
| ☐ Grand Theft Auto: San Andreas | ☐ Unreal Tournament 2004 |
| ☐ Halo 2 | ☐ Warhammer 40k: Dawn of War |
| ☐ Half Life 2 | ☐ World of Warcraft |
| ☐ Knights of the old Republic 2: The Sith Lords | ☐ Sonstiges |

22. Wenn 'sonstiges' bitte Spieletitel eingeben:

23. Welches Spiel hast du durch abwechslungsreiche Synchronsprecher in Erinnerung?

- | | |
|---|---|
| ☐ Act of War | ☐ Max Payne 2: The Fall of Max Payne |
| ☐ Aliens vs. Predator 2 | ☐ Medal of Honor: Pacific Assault |
| ☐ Battle for Middle-earth | ☐ Need for Speed Underground 2 |
| ☐ Brothers in Arms | ☐ Prince of Persia: Warrior Within |
| ☐ Call of Duty | ☐ Pro Evolution Soccer 4 |
| ☐ Command & Conquer: Generals | ☐ Rome: Total War |
| ☐ Counterstrike: Source | ☐ Sacred |
| ☐ Doom 3 | ☐ Sid Meier's Pirates |
| ☐ Far Cry | ☐ The Sims 2 |
| ☐ Fifa Soccer 2005 | ☐ Tom Clancy's Rainbow Six 3: Raven Shield |
| ☐ Final Fantasy XI Chains of Promathia | ☐ Tom Clancy's Splinter Cell: Pandora Tomorrow |
| ☐ Grand Theft Auto: San Andreas | ☐ Unreal Tournament 2004 |
| ☐ Halo 2 | ☐ Warhammer 40k: Dawn of War |
| ☐ Half Life 2 | ☐ World of Warcraft |

- ☐ Knights of the old Republic 2:
The Sith Lords
- ☐ Sonstiges

24. Wenn 'sonstiges' bitte Spieletitel eingeben:

25. Welches Spiel hast du durch gelungene akustische Schockelemente in Erinnerung?

- | | |
|---|---|
| ☐ Act of War | ☐ Max Payne 2: The Fall of Max Payne |
| ☐ Aliens vs. Predator 2 | ☐ Medal of Honor: Pacific Assault |
| ☐ Battle for Middle-earth | ☐ Need for Speed Underground 2 |
| ☐ Brothers in Arms | ☐ Prince of Persia: Warrior Within |
| ☐ Call of Duty | ☐ Pro Evolution Soccer 4 |
| ☐ Command & Conquer: Generals | ☐ Rome: Total War |
| ☐ Counterstrike: Source | ☐ Sacred |
| ☐ Doom 3 | ☐ Sid Meier's Pirates |
| ☐ Far Cry | ☐ The Sims 2 |
| ☐ Fifa Soccer 2005 | ☐ Tom Clancy's Rainbow Six 3: Raven Shield |
| ☐ Final Fantasy XI Chains of Promathia | ☐ Tom Clancy's Splinter Cell: Pandora Tomorrow |
| ☐ Grand Theft Auto: San Andreas | ☐ Unreal Tournament 2004 |
| ☐ Halo 2 | ☐ Warhammer 40k: Dawn of War |

- | | |
|---|--|
| ☐ Half Life 2 | ☐ World of Warcraft |
| ☐ Knights of the old Republic 2:
The Sith Lords | ☐ Sonstiges |

26. Wenn 'sonstiges' bitte Spielertitel eingeben:

27. Welches Spiel versetzt dich, durch eine passende Soundkulisse, am besten in das Spielgeschehen hinein?

- | | |
|--|--|
| ☐ Act of War | ☐ Max Payne 2: The Fall of Max Payne |
| ☐ Aliens vs. Predator 2 | ☐ Medal of Honor: Pacific Assault |
| ☐ Battle for Middle-earth | ☐ Need for Speed Underground 2 |
| ☐ Brothers in Arms | ☐ Prince of Persia: Warrior Within |
| ☐ Call of Duty | ☐ Pro Evolution Soccer 4 |
| ☐ Command & Conquer:
Generals | ☐ Rome: Total War |
| ☐ Counterstrike: Source | ☐ Sacred |
| ☐ Doom 3 | ☐ Sid Meier's Pirates |
| ☐ Far Cry | ☐ The Sims 2 |
| ☐ Fifa Soccer 2005 | ☐ Tom Clancy's Rainbow Six 3:
Raven Shield |
| ☐ Final Fantasy XI Chains of
Promathia | ☐ Tom Clancy's Splinter Cell:
Pandora Tomorrow |
| ☐ Grand Theft Auto: San Andreas | ☐ Unreal Tournament 2004 |

- | | |
|---|---|
| ☐ Halo 2 | ☐ Warhammer 40k: Dawn of War |
| ☐ Half Life 2 | ☐ World of Warcraft |
| ☐ Knights of the old Republic 2:
The Sith Lords | ☐ Sonstiges |

28. Wenn 'sonstiges' bitte Spieletitel eingeben:

29. Hast du schon einmal von einem Computerspiel den Soundtrack gekauft?

- | | | | |
|--------------------------|----------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| nein kein
Interesse | wollte jedoch
nicht verfügbar | einmal | Öfters |

30. Wie wichtig ist für dich eigene Musik (CD`s, MP3s) beim Spielen zu hören?

- | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| gar nicht wichtig | eher nicht
wichtig | wichtig | sehr wichtig |

31. Würdest du ein Spiel nur aufgrund der Bands, die den Soundtrack produzierten, kaufen?

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| ☐ nein | ☐ ja |
|-------------------------------|-----------------------------|

32. Wie wichtig ist für dich Sprachausgabe (eventl. synchronisiert) für

Menütexte?



gar nicht wichtig

eher nicht
wichtig

wichtig

sehr wichtig

33. Wie wichtig ist für dich die Verwendung von prominenten Sprechern?



gar nicht wichtig

eher nicht
wichtig

wichtig

sehr wichtig

34. Hast du schon einmal von EAX / EAX Advanced HD gehört?

☐ nein

☐ ja

wenn Frage 34 zutrifft

35. Verwendest du EAX wenn es von einem Computerspiel angeboten und auswählbar ist?

☐ nein

☐ ja

36. Hast du schon einmal von Interactive Audio gehört?

☐ nein

☐ ja

37. Hast du dich schon einmal an ein Mod Tool gewagt?

☐ nein

☐ ja

wenn Frage 37 zutrifft

38. Wie wichtig findest du die Möglichkeit eigene Sounds bei Modifikationen zu verwenden?

- | | |
|---|---------------------------------------|
| ☐ gar nicht wichtig | ☐ wichtig |
| ☐ eher nicht wichtig | ☐ sehr wichtig |

39. Mit welchem Soundsystem ist dein Computer ausgestattet?

- | | |
|--|------------------------------|
| ☐ Stereo | ☐ 5.1 |
| ☐ 2.1 | ☐ 7.1 |
| ☐ Four Point Surround (FPS) | |

wenn Antwort der Frage 39 nicht 'stereo' ist

40. Wieso hast du dich für den Kauf eines Surround-Sound-Systems entschieden?

- | | |
|---|--|
| ☐ war gratis dabei | ☐ zum computerspielen |
| ☐ zum DVD Film schauen | |

wenn Antwort der Frage 39 'stereo' ist

41. Wäre besonders guter Sound in einem Videospiel für dich ein Grund dir neue Soundhardware (Soundkarte oder Boxensystem) zuzulegen?

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| ☐ nein | ☐ ja |
|-------------------------------|-----------------------------|

wenn Antwort der Frage 41 'ja' ist

42. Wie viel Geld würdest du maximal für eine neue Soundkarte ausgeben?

- | | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|

bis 30€

bis 70€

bis 100€

bis 150€

über 150€

wenn Antwort der Frage 41 'ja' ist

43. Wie viel Geld würdest du maximal für ein aktuelles Surroundsound Boxensystem ausgeben?



bis 50€



bis 100€



bis 150€



bis 200€



über 200€

7.1 Allgemeine Informationen

Der Fragebogen dient dazu mehr über die (meist unbewusste) Wahrnehmung von Sounddesign in Computerspielen herauszufinden.

Der Fragebogen wurde durch das interne Mailsystem jedem Studenten der FH St. Pölten zugänglich gemacht. Zusätzlich wurden in den größeren Foren von aktuellen deutschen Videospiel Magazinen, Links zum Fragebogen gepostet, um eine möglichst hohe Anzahl an Teilnehmern zu erlangen. Am Ende der Umfrage hatten über 500 Personen teilgenommen.

Folgende Fragen sollten durch die Publikation des Fragebogens beantwortet werden:

1. Wie wichtig ist dem durchschnittlichen Benutzer von Computerspielen der Sound?
2. Wie steht es mit dem Wissen über aktuelle technische Begriffe im Bereich des Sound Engineerings?
3. Welche aktuellen Spiele stehen im Bereich des Sounddesigns hoch in der Gunst der Spieler?
4. Wie viel Geld würde ein Videospieler für ein aktuelles Soundsystem ausgeben?
5. Lohnt sich ein technisch und künstlerisch hoher Aufwand bei der Produktion von Sound und Sound FX und wird dieser vom Spieler honoriert, oder liegt der Schwerpunkt der Aufmerksamkeit rein auf der optischen Präsentation des Produktes?

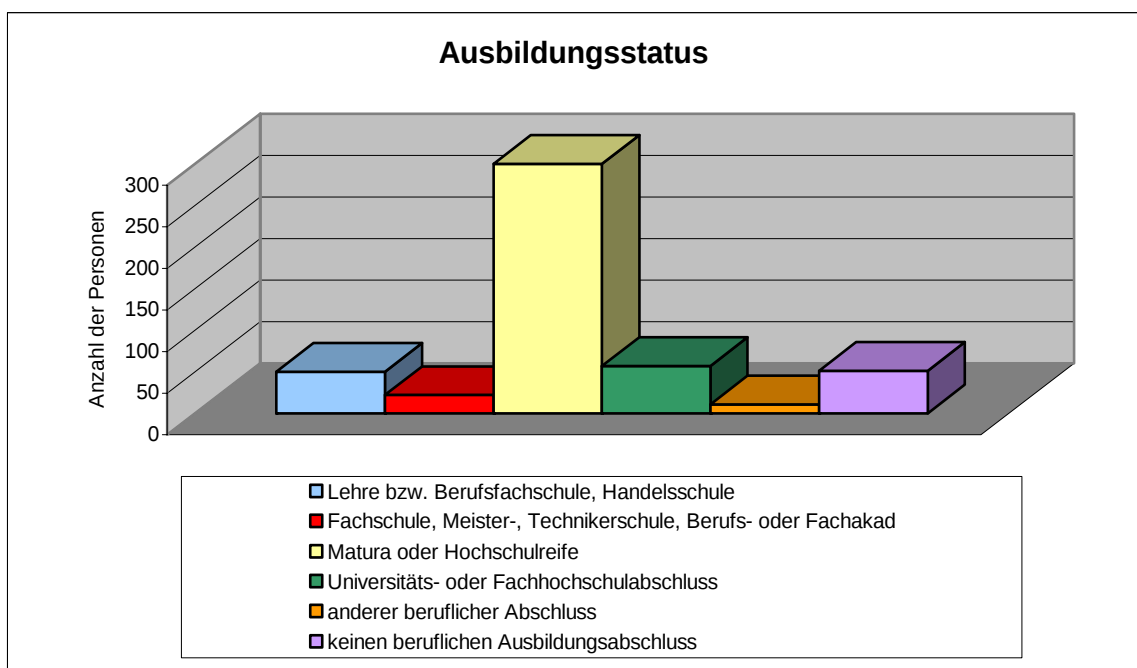
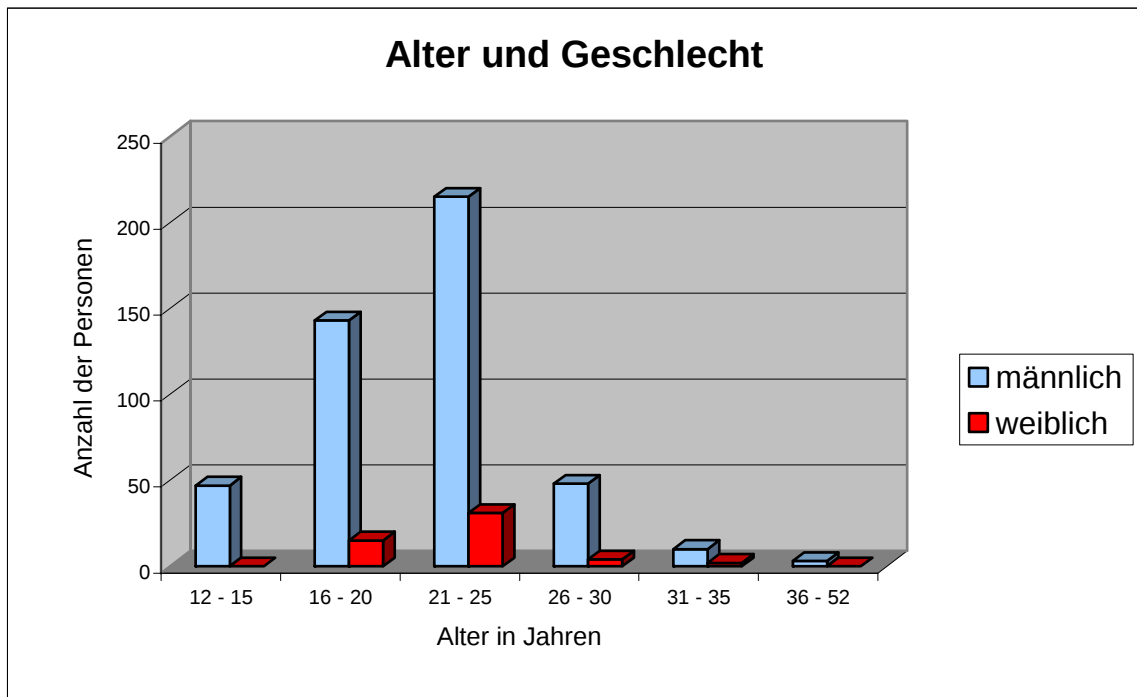
Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Fragen visualisiert und erklärt.

7.2 Ergebnisse

1. Wie alt bist du?

2. Geschlecht?

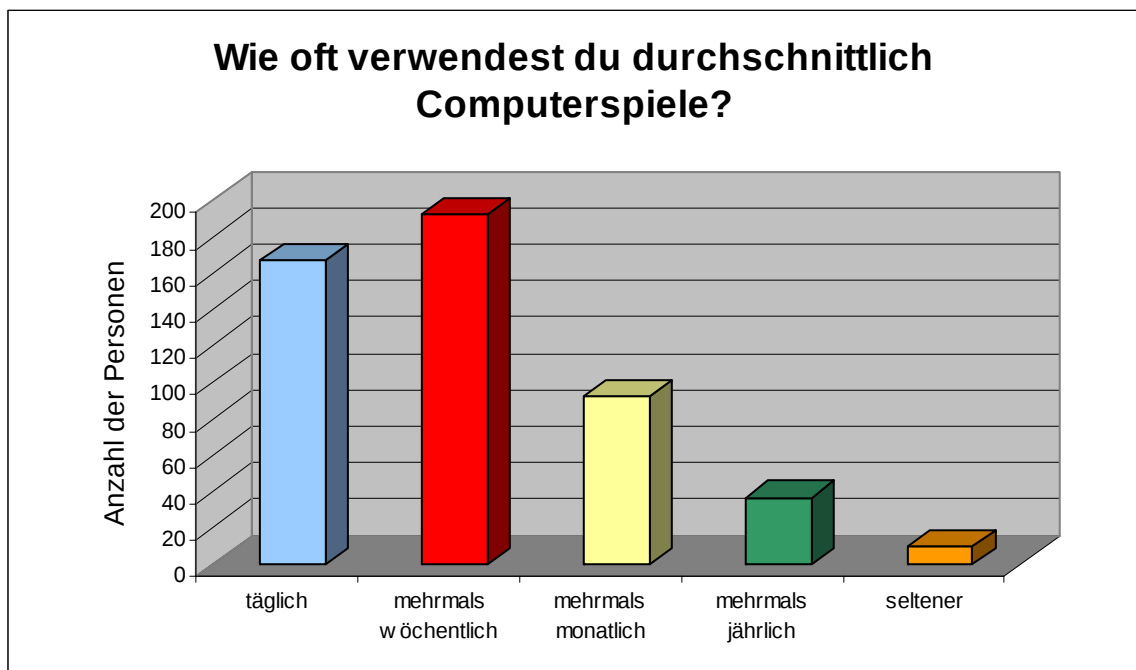
3. Welchen Ausbildungsabschluss hast du erworben?



Die ersten drei Fragen dienen dazu, dass Alter bzw. das Geschlecht der Teilnehmer herauszufinden und einen Überblick zu bekommen, wie alt die aktuelle „Computerspiele-Generation“ ist.

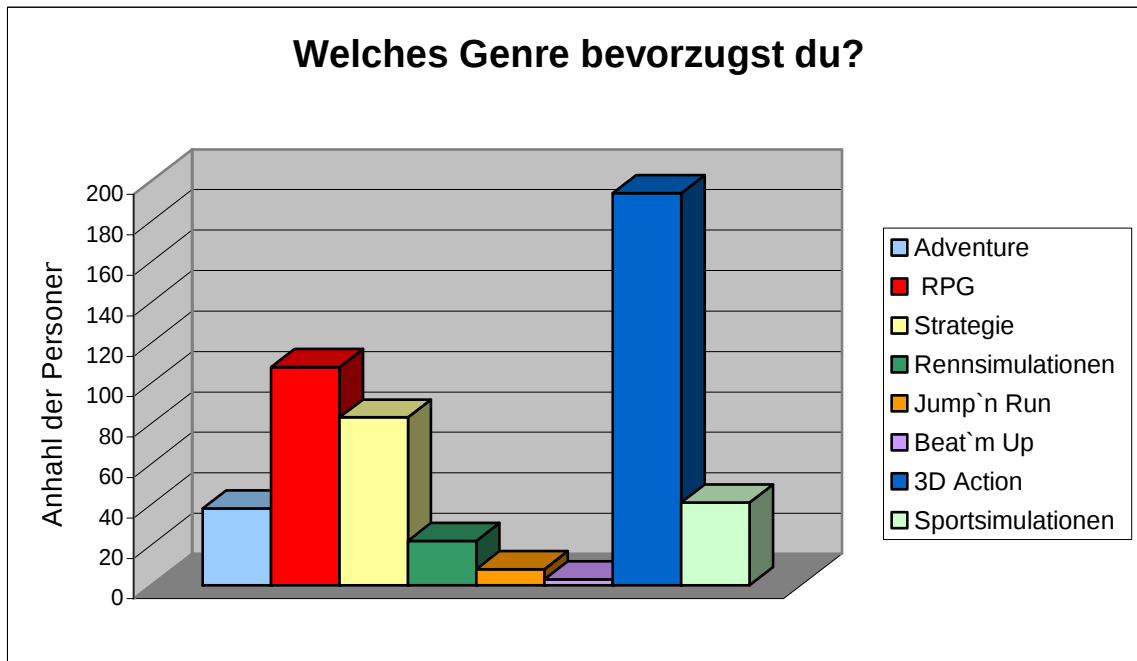
Das Ergebnis zeigt, dass die Mehrheit der Teilnehmer zwischen 16 und 25 Jahren alt sind, ein sehr großer Anteil davon männlich ist und der Hauptanteil die Matura bzw. die Hochschulreife erreicht hat bzw. erreichen wird.

4. Wie oft verwendest du durchschnittlich Computerspiele?



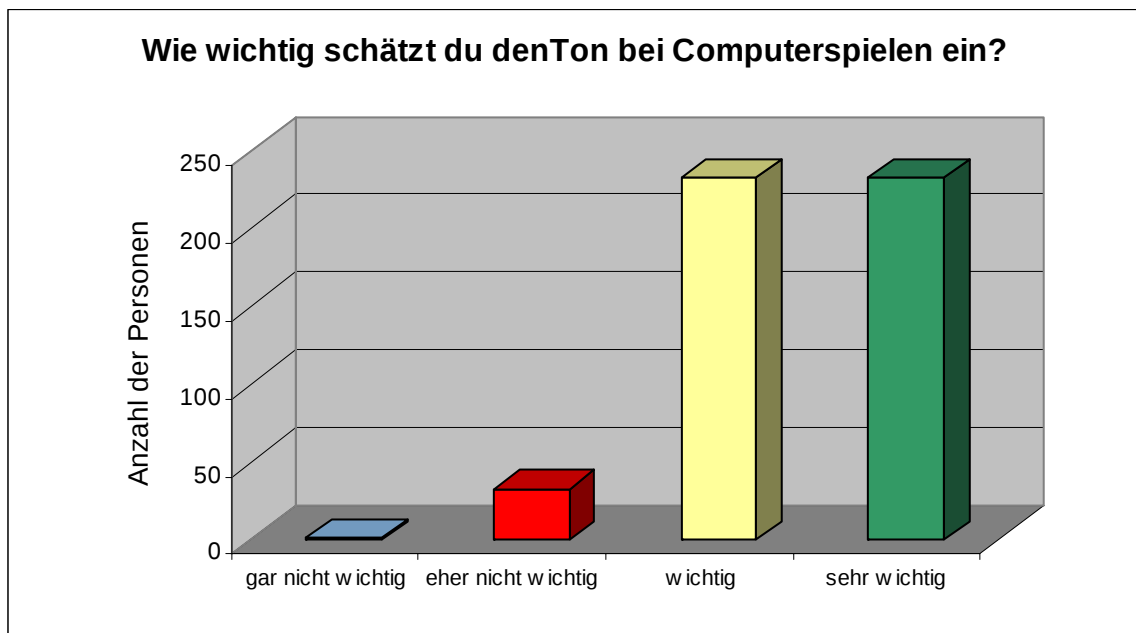
Frage Nummer 4 soll beantworten, wie oft die Befragten Videospiele nutzen. Man kann davon ausgehen, dass Personen, die mehr Zeit in Computerspiele investieren, sich auch besonders für allgemeine Themen rund um ihr Hobby begeistern können und somit ein höheres Wissen bzw. Verständnis z.B. für Sound Design haben.

5. Welches Genre bevorzugst du?



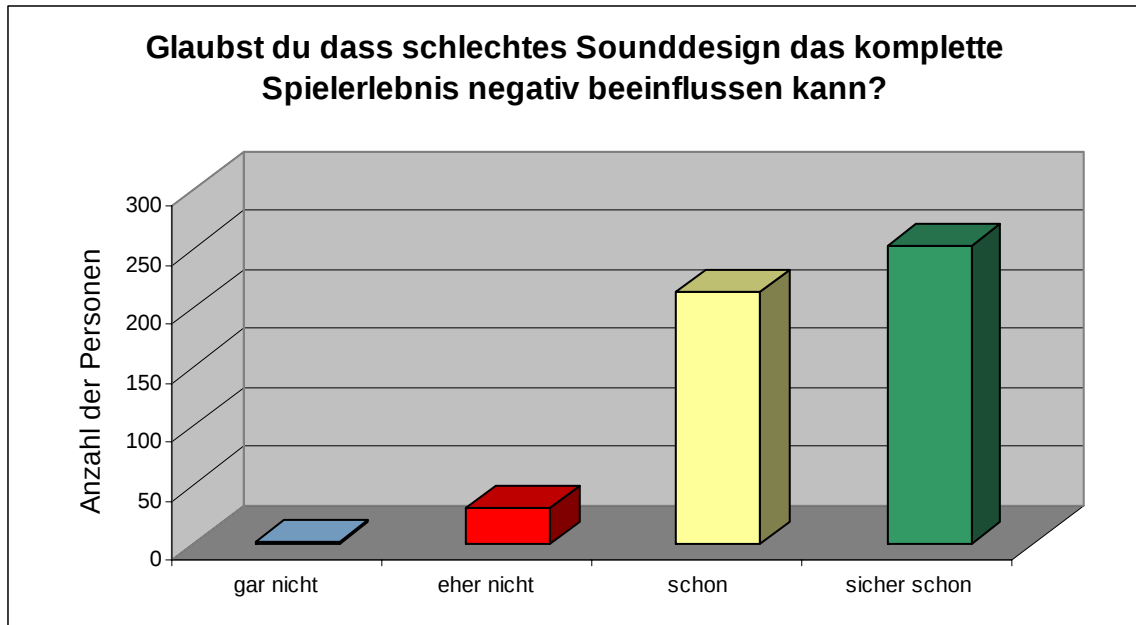
Anhand von Frage 5 wird deutlich, dass der Grossteil an Videospielern das „3D Action“ Genre bevorzugt, gefolgt von „RPG“ Titeln (Role Playing Game [Rollenspiel]). Gerade in dieser Art von Videospielen ist das Sound Design besonders wichtig, da dieses nicht „nur“ unterstützend zur Atmosphäre des Spieles wirkt, sondern auch zusätzliche Informationen über das Spielgeschehen bereitstellt (z.B. was passiert hinter dem Spieler).

6. Wie wichtig schätzt du den Ton bei Computerspielen ein?



Von 498 gültigen Teilnehmern schätzen 464 den Ton bei Computerspielen als wichtig bis sehr wichtig ein, was darauf schließen lässt, dass es dem Großteil von Benutzern von Computerspielen nicht egal ist, wie qualitativ hochwertig oder minderwertig das Sound Design ist.

7. Glaubst du dass schlechtes Sounddesign das komplette Spielerlebnis negativ beeinflussen kann?



Frage 7 zielt bewusst auf dasselbe Thema wie Frage 6 ab, jedoch ist die Form der Fragestellung bei weitem nicht so direkt. Die Idee hinter der Frage ist, den Benutzer noch einmal explizit zu fragen, ob für ihn Sound Design eine wichtige Rolle zur allgemeinen subjektiven Bewertung eines Spieles darstellt oder nicht.

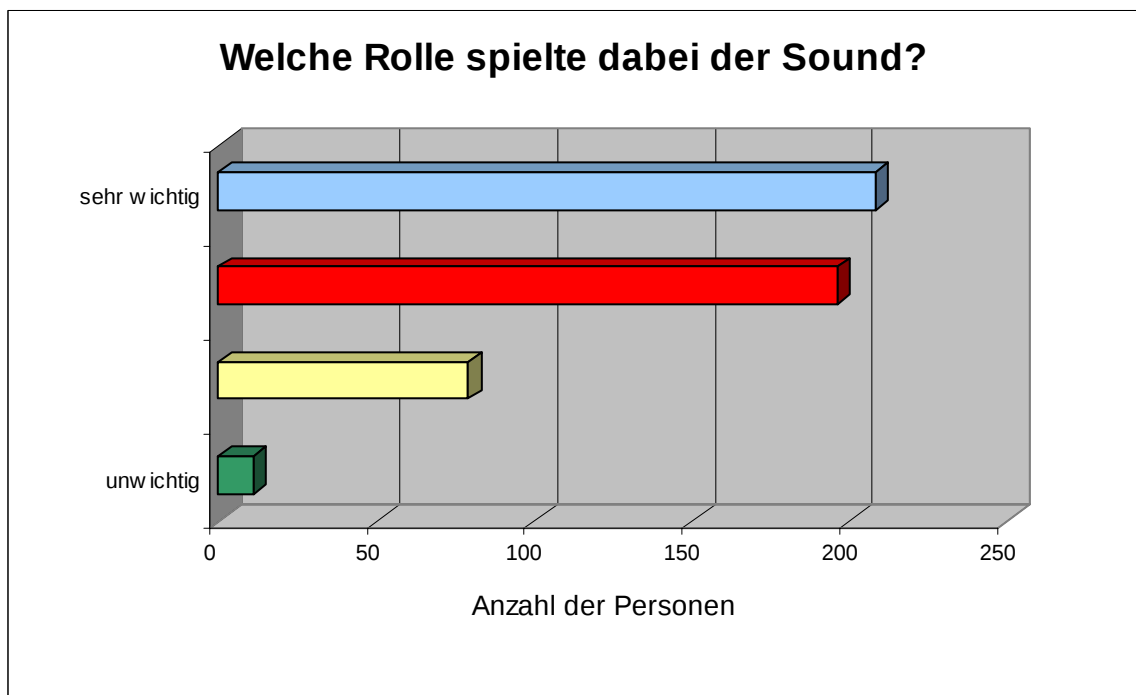
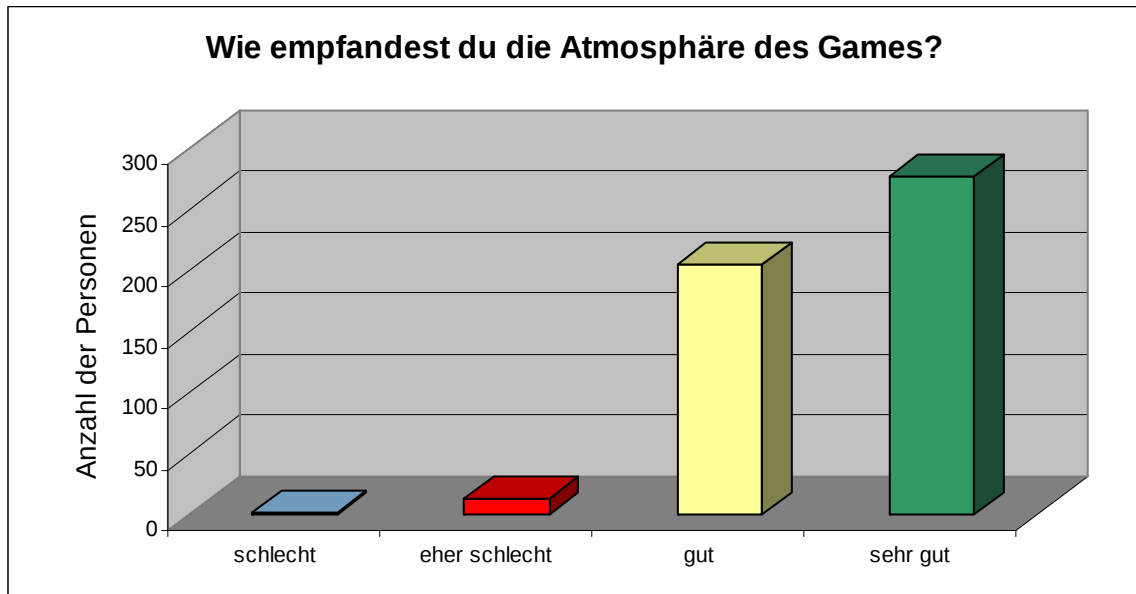
Auch das Ergebnis dieser Frage zeigt wieder eindeutig, dass der Großteil der Teilnehmer ein gutes Sound Design für essentiell hält, und gleichzeitig das gesamte Spielerlebnis durch schlechtes Sound Design negativ beeinflusst wird.

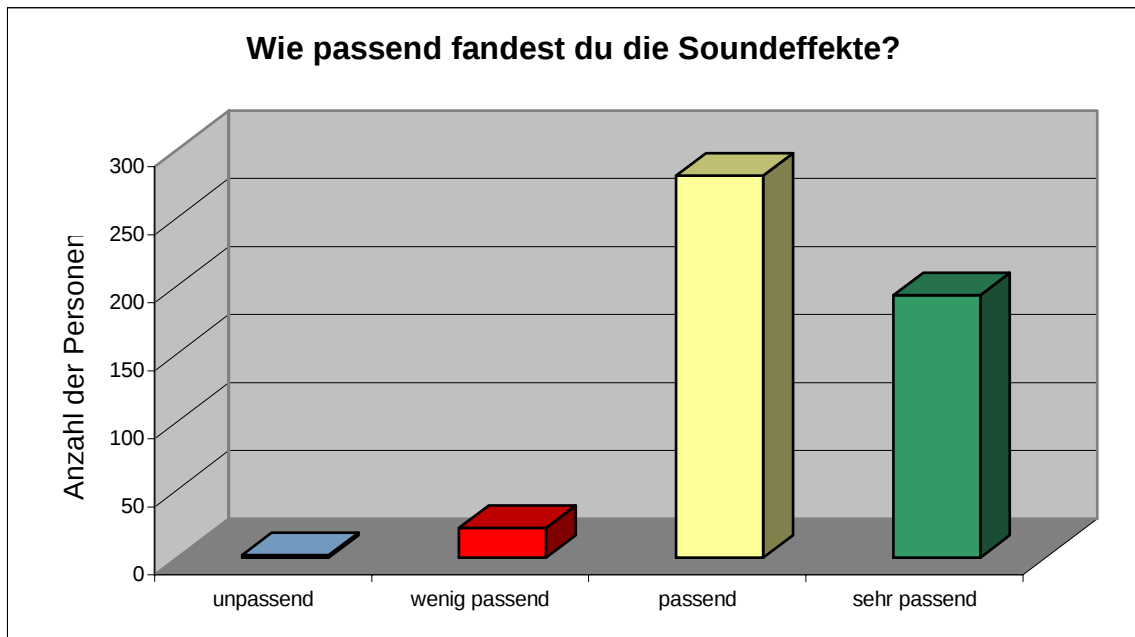
Die folgenden Frage beziehen sich auf das letzte länger benutzte Computerspiel

8. Wie empfandest du die Atmosphäre des Games?

9. Welche Rolle spielte dabei der Sound?

10. Wie passend fandest du die Soundeffekte?



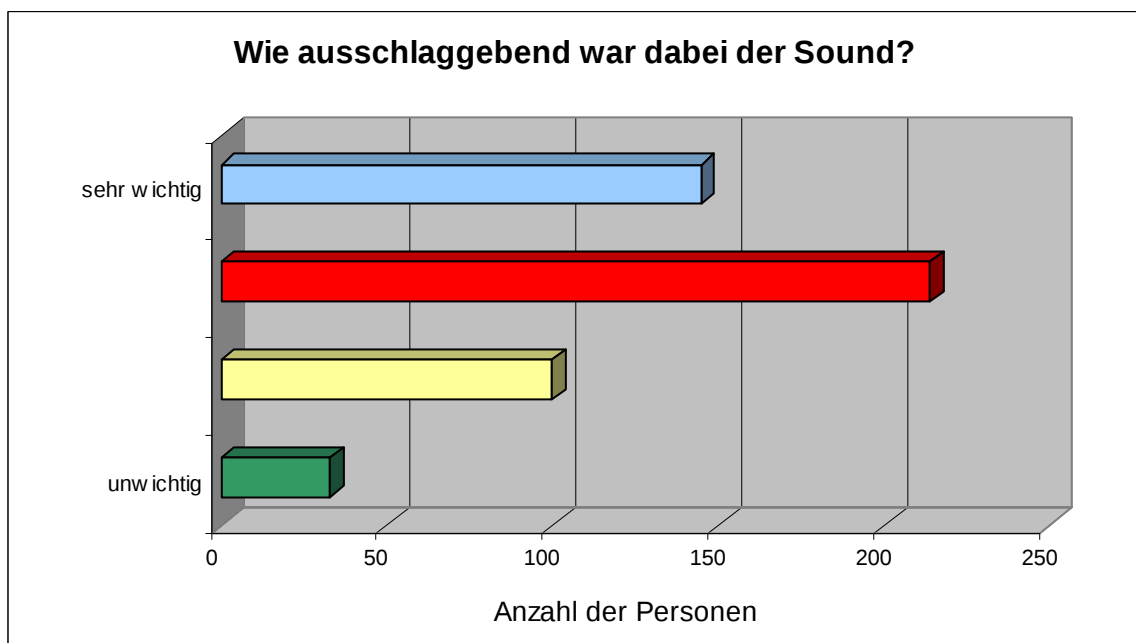
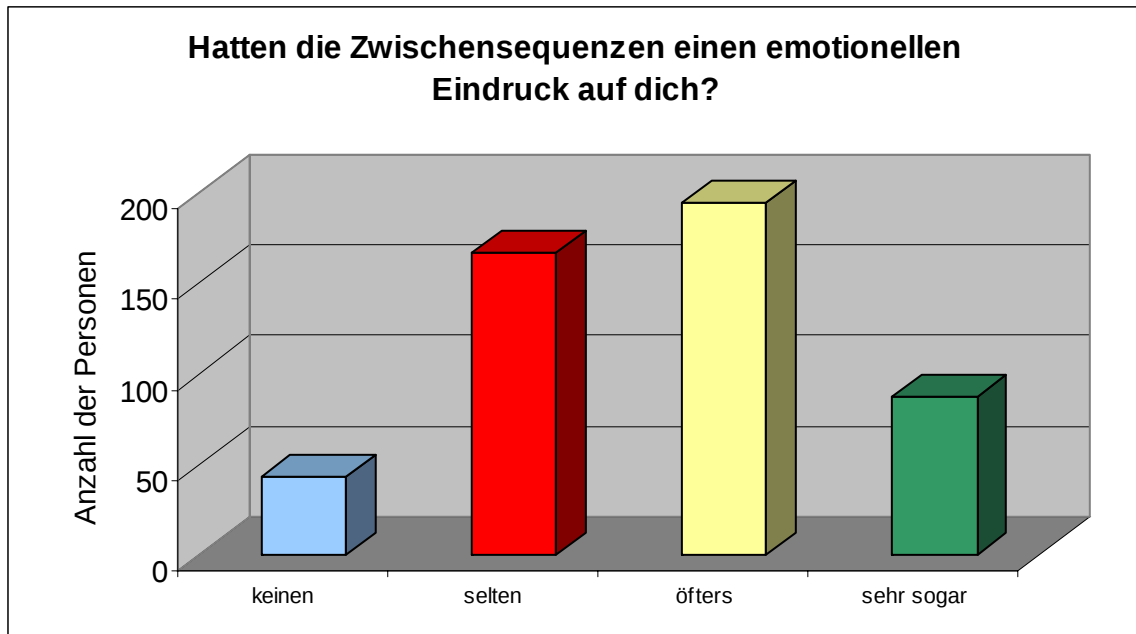


Diese und die folgenden Fragen (bis Frage 15) verknüpfen markante Situationen bzw. Zustände in einem Videospiel (wobei die Wahl des Titels beim Teilnehmer lag) mit dem Sound Design desselben.

Über Teilerlebnisse während des Spielens soll herausgefunden werden, wie sehr grundsätzlich ein gesamtes positives bzw. negatives Spielerlebnis vom Sound Design abhängt oder nicht.

11. Hatten die Zwischensequenzen einen emotionellen Eindruck auf dich?

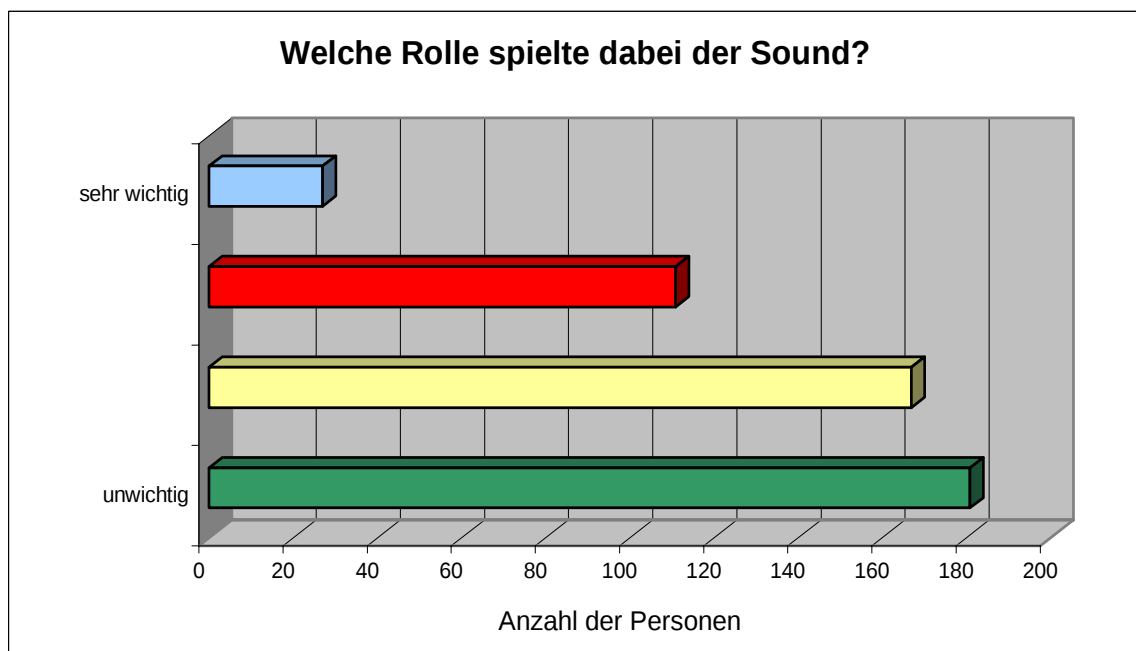
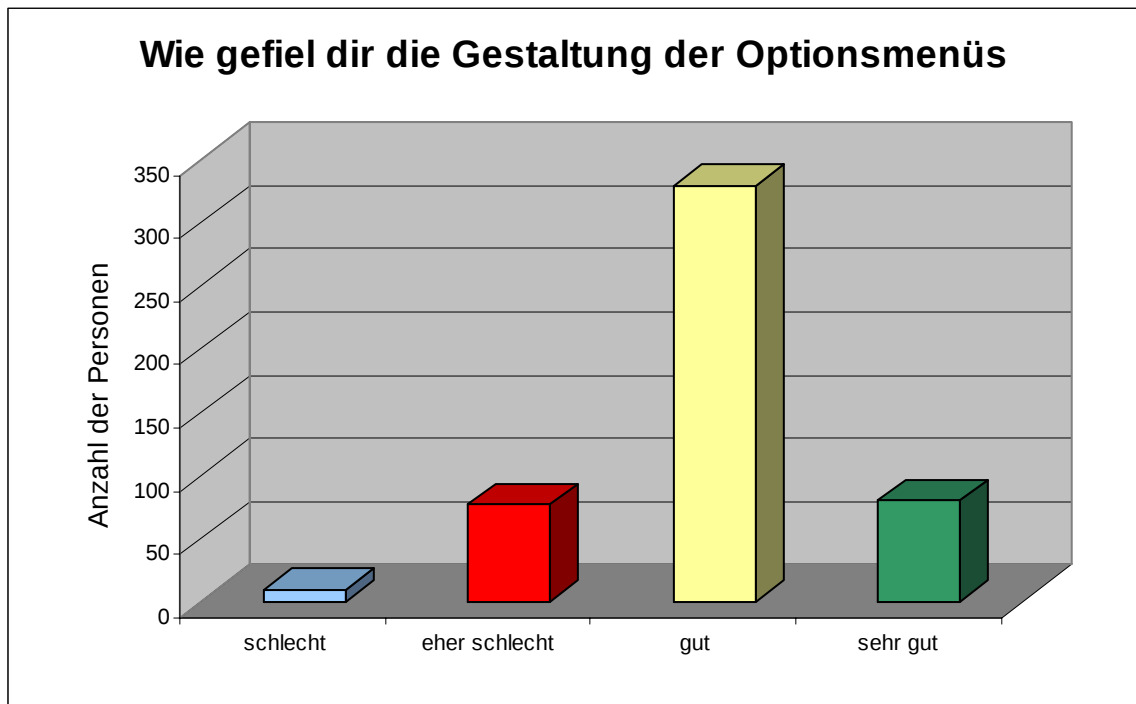
12. Wie ausschlaggebend war dabei der Sound?

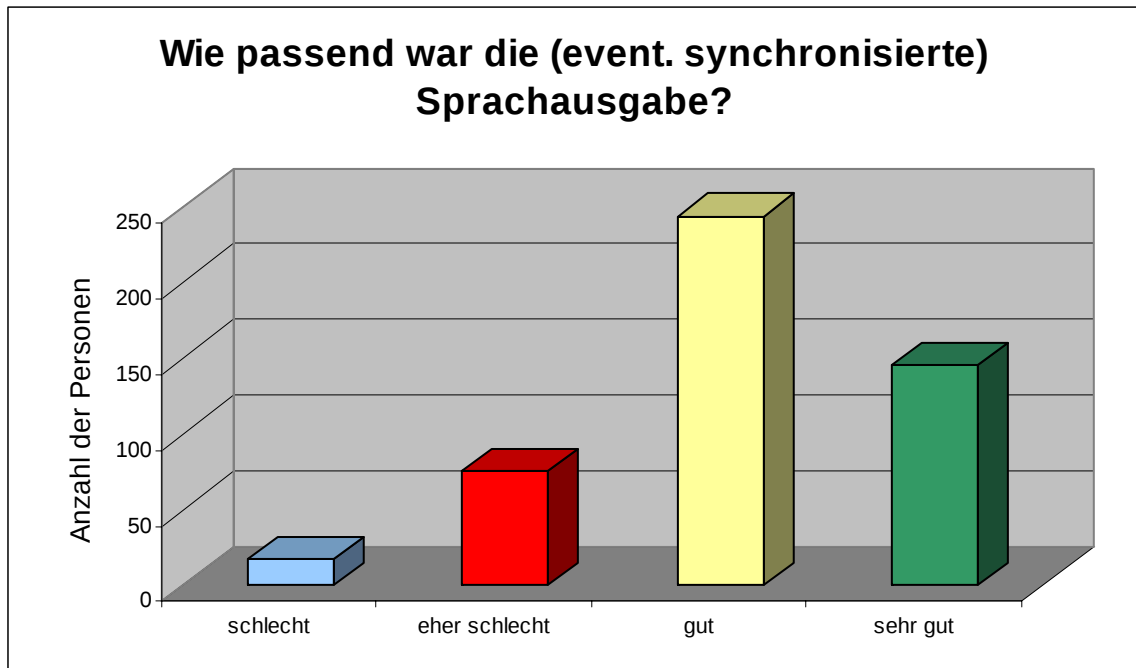


13. Wie gefiel dir die Gestaltung der Optionsmenüs?

14. Welche Rolle spielte dabei der Sound?

15. Wie passend war die (eventl. synchronisierte) Sprachausgabe?





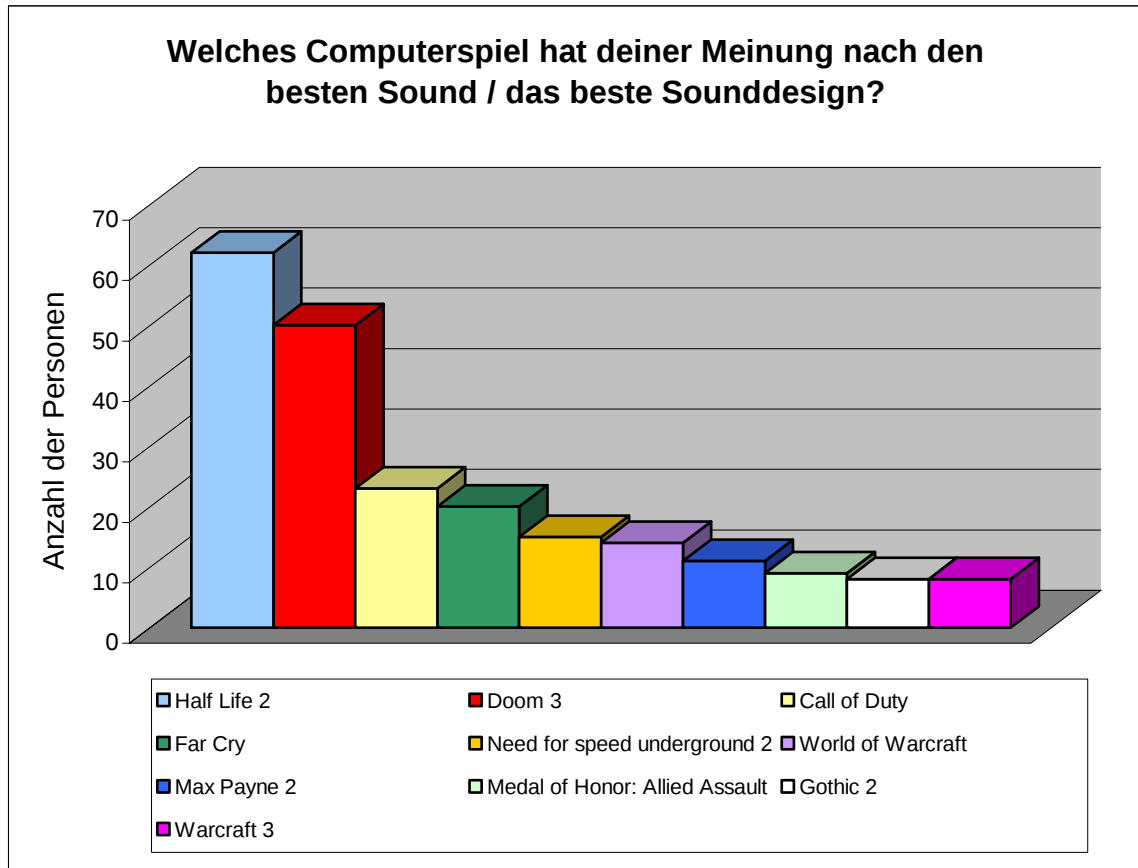
Sieht man sich die Ergebnisse von Frage 8 bis Frage 15 an, so erkennt man, dass außer bei Frage 14, ein als positiv bewerteter Aspekt eines Videospieles von den Teilnehmern der Umfrage auch eine positive Bewertung des Sound Design bekam. Gleichzeitig wurden jedoch auch fehlende emotionelle Eindrücke auf den Spieler (Frage 11 und 12) durch eher schlechten Sound erklärt.

(Synchronisierte) Sprachausgabe wurde vom Grossteil der Teilnehmer als „gut“ bewertet, was auf eine eventuell notwendige Verbesserung in diesem Bereich hinweist.

Abschließend lässt sich über diesen Frageblock zusammenfassen, dass eine gute Soundkulisse bzw. gute Sound Effekte ein, als subjektiv positiv empfundenen, Videospiel noch verbessern kann und dies auch von den Benutzern honoriert bzw. erkannt wird.

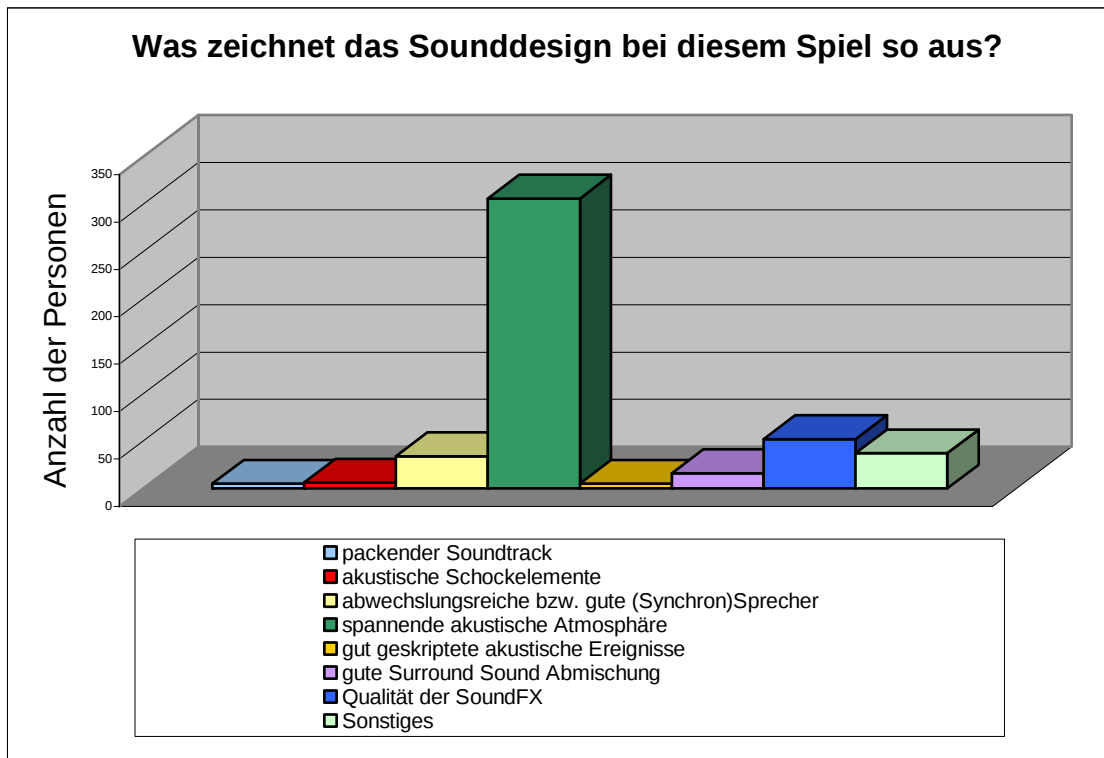
16. Welches Computerspiel hat deiner Meinung nach den besten Sound / das beste Sounddesign?

17. Was zeichnet das Sounddesign bei diesem Spiel so aus? (max. 3)



Bei Frage Nummer 16 hatten die Teilnehmer die Möglichkeit selbst ein Computerspiel zu nennen und waren dabei nicht an Vorgaben gebunden.

Aufgrund der weit verteilten Streuung und teils auch exotischen Nennungen werden hier nur die zehn meistgenannten Ergebnisse präsentiert. Weiters liegen die dahinter nachfolgenden Platzierungen unter 1,5 Prozent und stellen dadurch für die Auswertung kein repräsentatives Ergebnis dar.

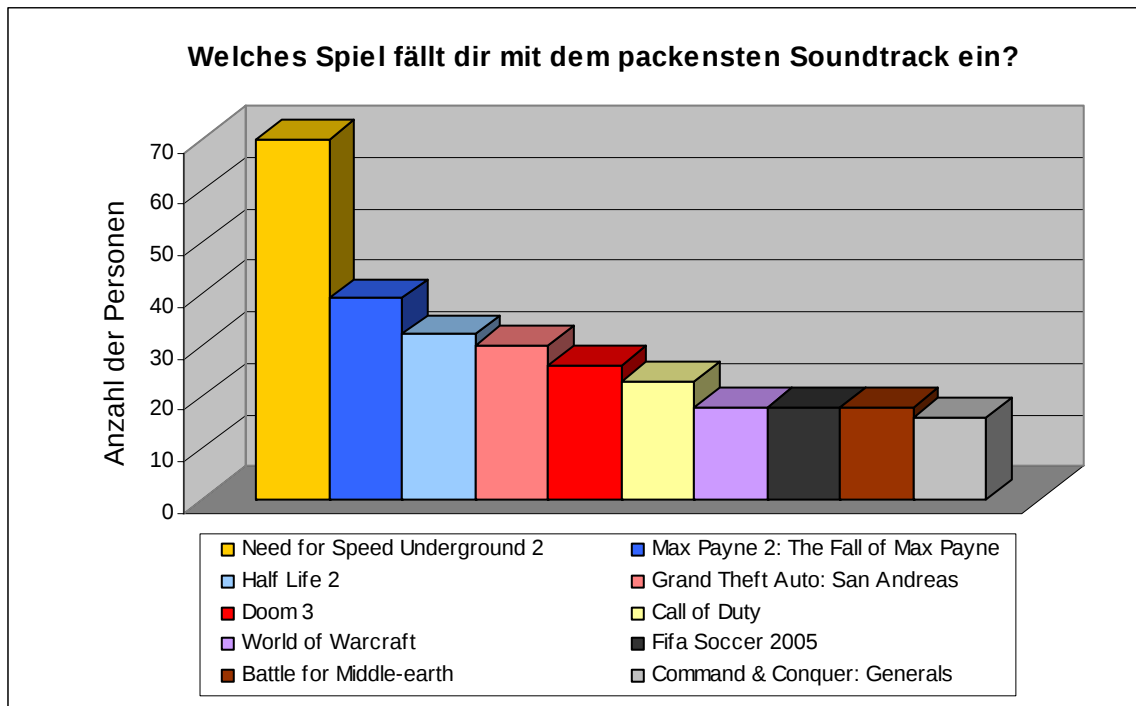


Spannendes akustisches Sound Design zeichnet laut unserer Umfrage die beiden Spiele „Half Life2“ und „Doom3“ aus.

Besonders bei „Doom3“ wurde auch im Vorfeld durch Tests verschiedener Videospiele Magazine immer wieder die Qualität des Sound Designs gelobt, hervorgehoben und als ein extrem wichtiges Stilmittel in dem „3D Shooter“ bezeichnet. So befand sich das Action Adventure monatelang nach Release ganz oben in den internationalen Verkaufscharts, nicht zuletzt durch die packende Atmosphäre, die auch auf das hervorragende Sound Design zurückgeführt werden kann.

Im Folgenden sollst du bitte jenes Spiel auswählen, bei dem deiner Meinung nach das Kriterium am meisten zutrifft:

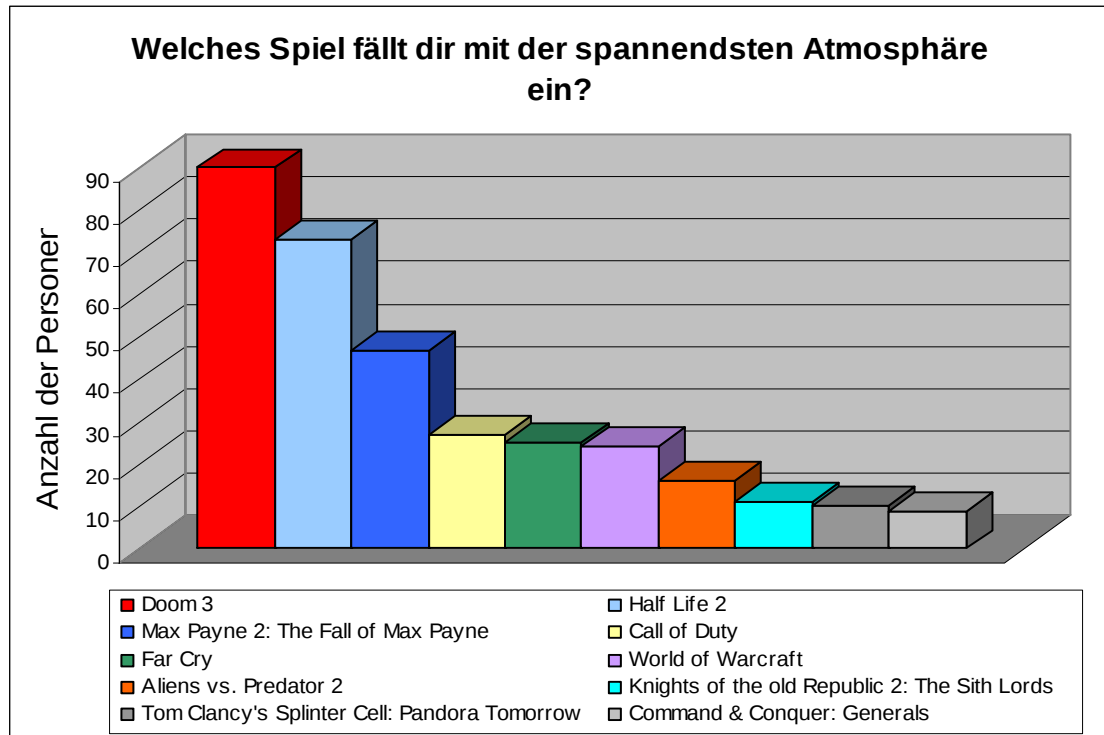
19. Welches Spiel fällt dir mit dem packendsten Soundtrack ein?



Bei der Frage nach dem Spiel mit dem packendsten Soundtrack, hebt sich „Need for Speed Underground 2“ deutlich als Favorit der Mehrheit ab.

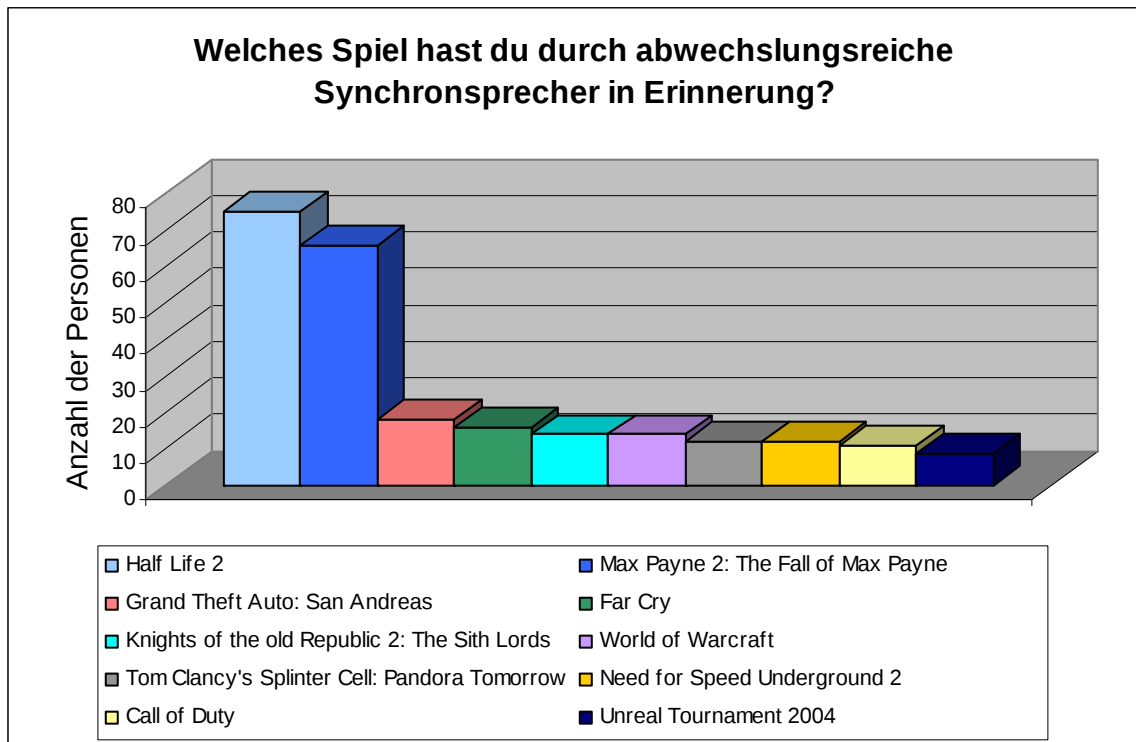
Gründe dafür sind natürlich in erster Linie die hohe Anzahl an bekannten Künstlern und die breite musikalische Palette des Soundtracks. Von Rock bis Pop und Hip-Hop ist alles, was der aktuelle Musik-Mainstream zu bieten hat, dabei. Ein zusätzlicher Grund für die Popularität des Titels ist weiters, dass Publisher „EA Games“ zum Teil massive TV-Werbung vor und nach bekannten Fernsehshows auf etlichen Musiksendern betrieben hat.

21. Welches Spiel fällt dir mit der spannendsten Atmosphäre ein?



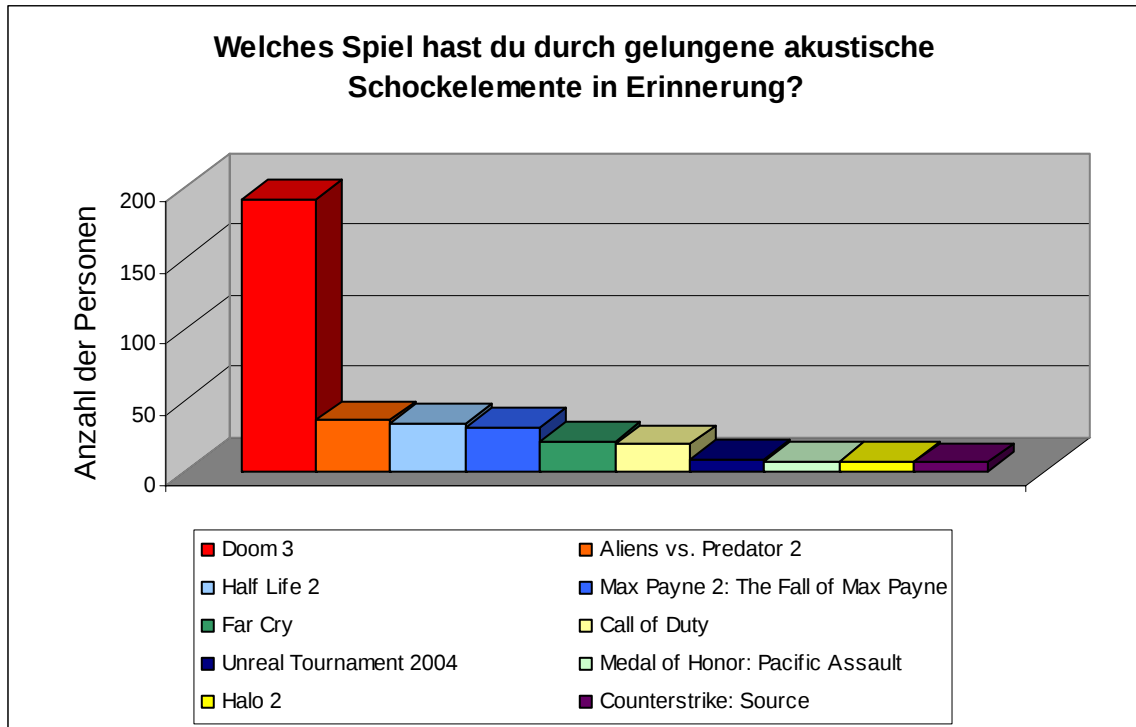
Auch in diesem Punkt der Umfrage konnte anscheinend das Sound Design, das einen sehr großen Anteil an der Atmosphäre von Doom3 ausmacht, 27,1% der Befragten überzeugen. Knapp dahinter auf Platz 2 und 3 rangieren mit 21,9% Half Life 2 und mit 14,1% der Stimmen Max Payne 2: The Fall of Max Payne. Beide Spiele zeichnet, laut unabhängigen Zeitschriften, ein überragendes Sound Design sowie ein dramatischer Soundtrack aus.

23. Welches Spiel hast du durch abwechslungsreiche Synchronsprecher in Erinnerung?



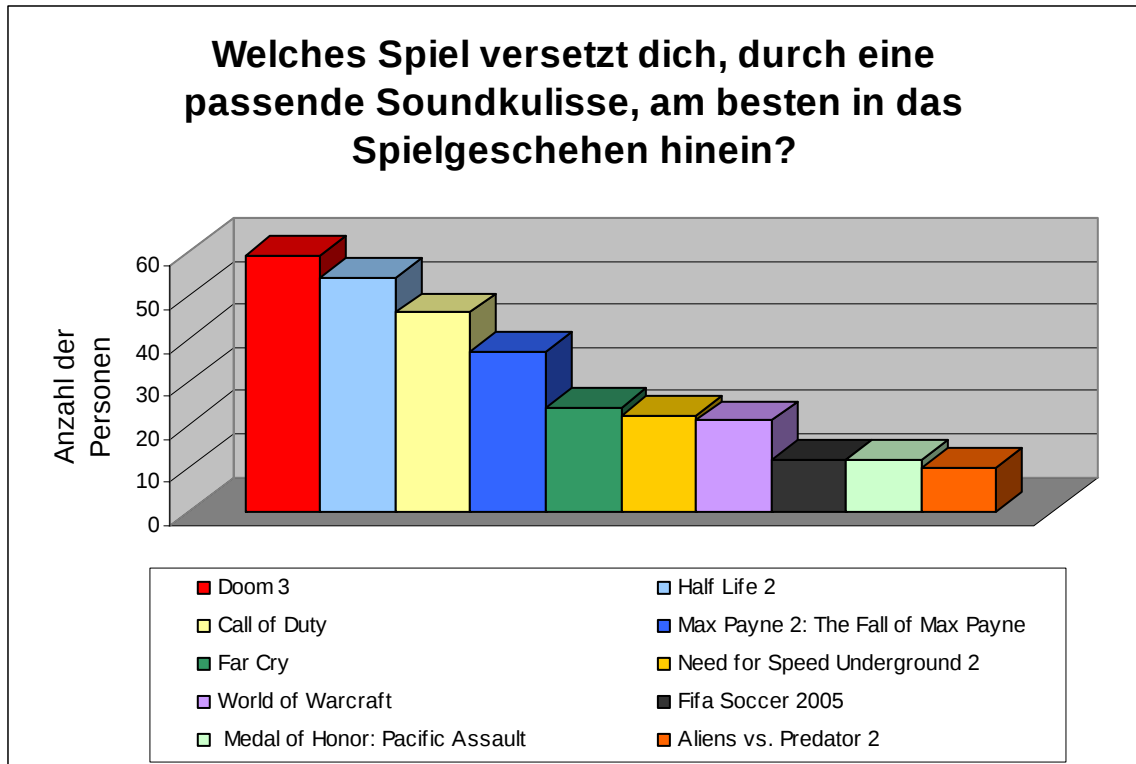
Frage 23 stellte die Frage nach den abwechslungsreichsten Synchronsprechern, wobei bewusst nicht darauf hingewiesen wurde, dass auch Spiele in Englischer (Original) Sprache Synchronsprecher vorweisen können, und der Begriff Synchronsprecher nicht zwangsläufig auf eine deutsche Übersetzung hindeuten muss. Interessanter Weise wurde im Feld „Sonstiges“ immer wieder auf diverse miserable deutsche Übersetzungen in verschiedene Spiele hingewiesen, was darauf schließen lässt, dass in diesem Bereich eine massive Verbesserung nötig ist. Viele Spieler wünschen sich darüber hinaus die Möglichkeit, die Sprache des Spieles selber bestimmen zu können, was zwar heutzutage schon des Öfteren möglich ist, jedoch noch nicht den Standard darstellt.

25. Welches Spiel hast du durch gelungene akustische Schockelemente in Erinnerung?



Frage 25 war in gewisser Massen ein „Heimspiel“ für IDs „3D Shooooter“, da es zur Zeit kein vergleichbares Spiel auf dem Markt gibt, dass die Möglichkeit derart konsequent nutzt, interaktives Sound Design zur Darstellung von Schockelementen zu benutzen wie Doom 3. Abgeschlagen, doch immer noch auf Platz 2 folgt der Titel Aliens vs. Predator 2, der zwar schon über 4 Jahre auf dem virtuellen Buckel hat, doch anscheinend immer noch mit guten akustischen Spannungselementen aufwarten kann.

27. Welches Spiel versetzt dich, durch eine passende Soundkulisse, am besten in das Spielgeschehen hinein?

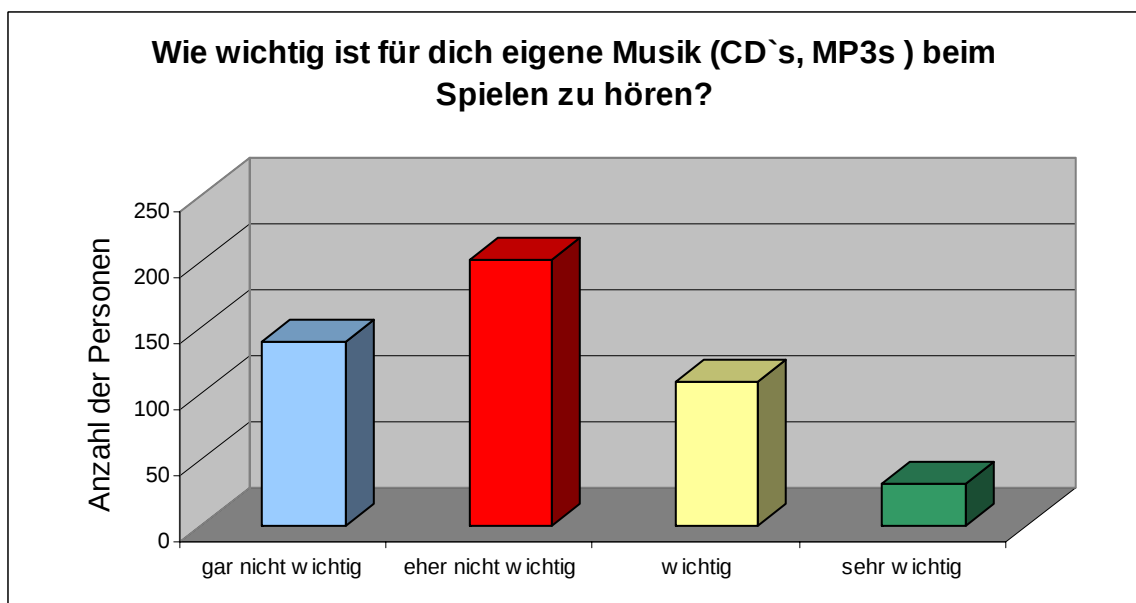
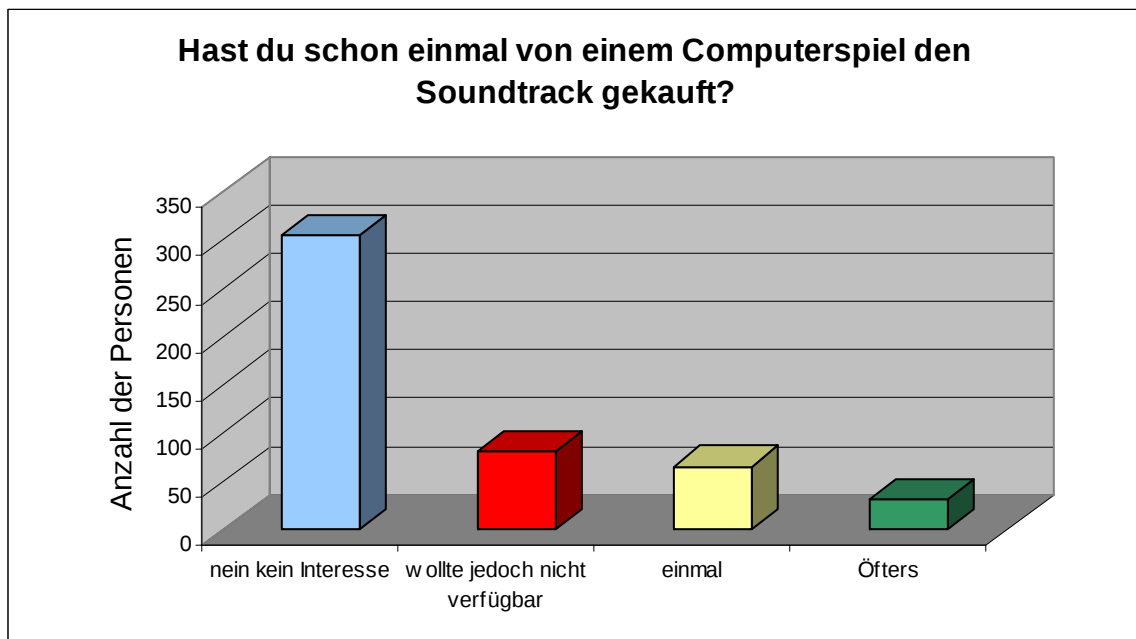


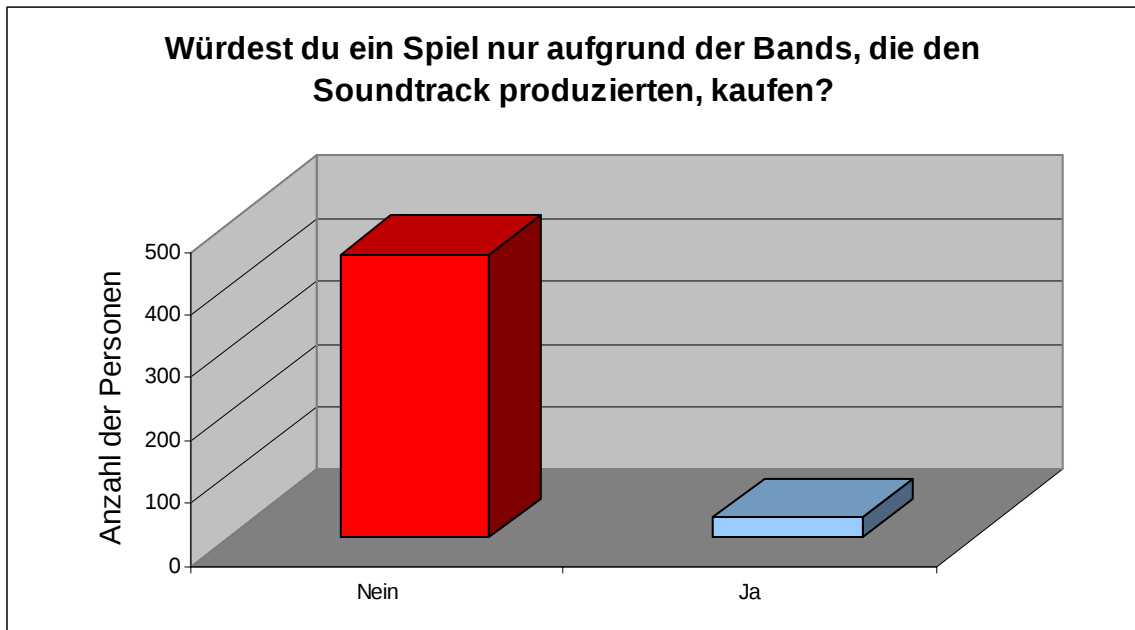
Frage 27 zeigt wiederum dass sich gutes Sound Design auszahlt. Doom3 wurde auch in der Kategorie der passendsten Soundkulisse zum Favoriten erklärt und rangiert mit dem Grossteil der abgegebenen Stimmen auf Platz 1, wiederum gefolgt von Half Life2 und dem Weltkriegsshoooter Call of Duty, das ebenfalls eine hervorragende akustische Kulisse vorweisen kann.

29. Hast du schon einmal von einem Computerspiel den Soundtrack gekauft?

30. Wie wichtig ist für dich eigene Musik (CD`s, MP3s) beim Spielen zu hören?

31. Würdest du ein Spiel nur aufgrund der Bands, die den Soundtrack produzierten, kaufen?



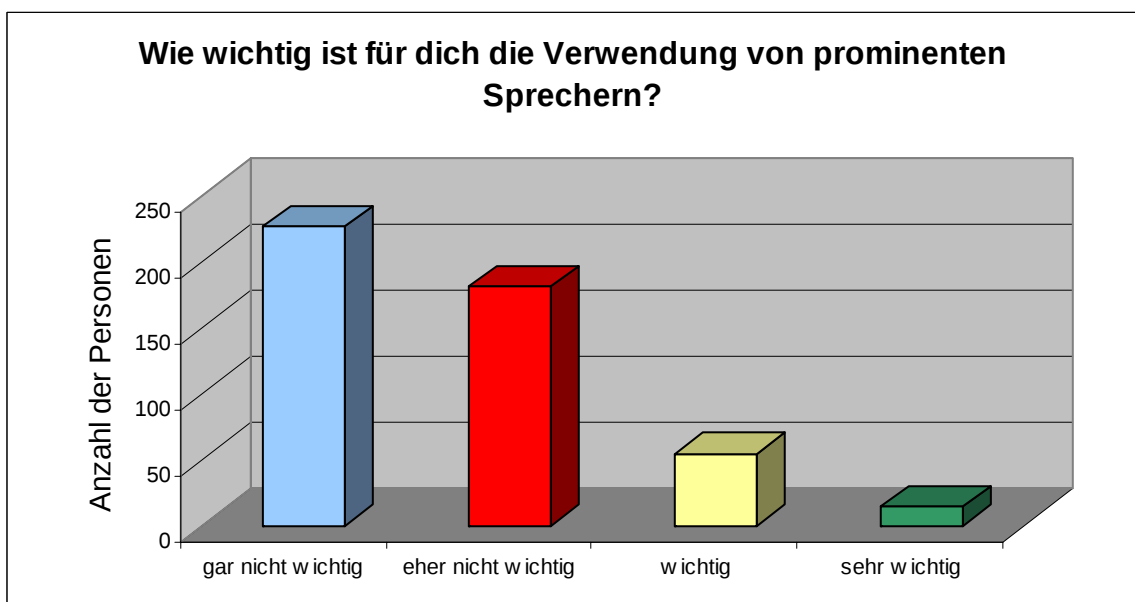
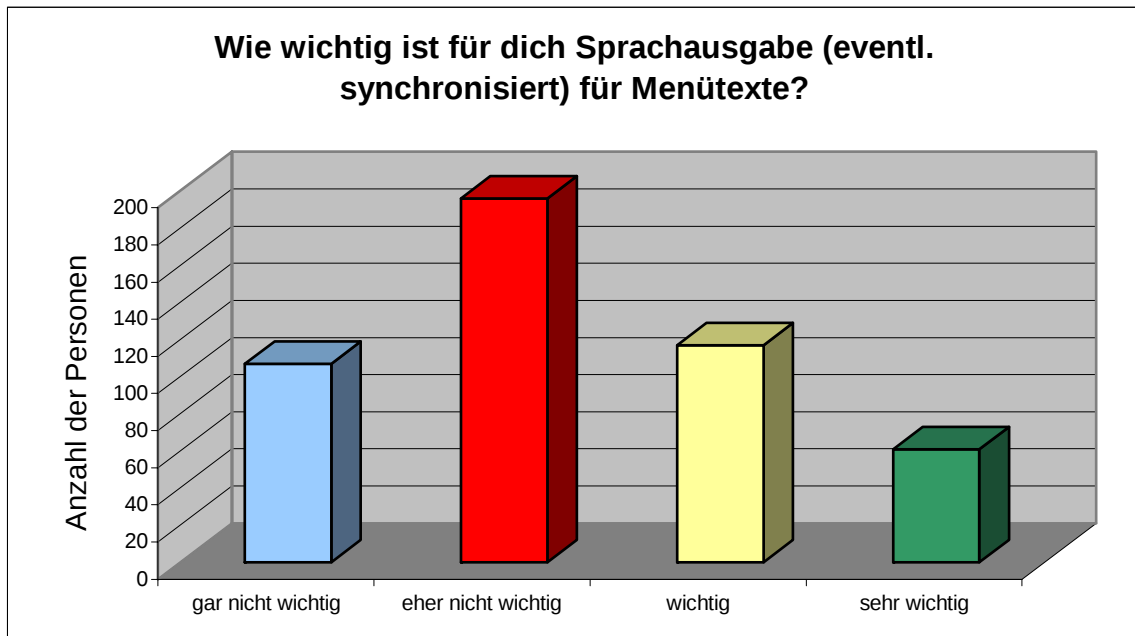


Die Antworten auf Frage 29 bis 31 zeigen dass es den meisten Spielern zwar wichtig ist, ein gutes Sound Design bzw. einen guten Soundtrack bei Videospielen zur Verfügung gestellt zu bekommen, jedoch ist die Möglichkeit des Erwerbes von Spiele-Soundtracks für den Großteil nicht interessant. Hier scheint es wohl der Fall zu sein, dass das Spielerlebnis aktiv mit dem Soundtrack verbunden werden muss.

Ein weiterer Grund dafür könnte auch sein, dass Soundtracks in aktuellen Videospielen (noch) nicht die geforderte breite Masse ansprechen, die zur Akzeptanz von eigenständiger Musik führen würde, auch wenn diese beispielsweise von prominenten Bands produziert werden würden.

32. Wie wichtig ist für dich Sprachausgabe (eventl. synchronisiert) für Menütexte?

33. Wie wichtig ist für dich die Verwendung von prominenten Sprechern?



Bei der Wahl von Synchronsprechern kommt es den Konsumenten von Videospielen primär darauf an, dass die Qualität der Synchronisation stimmt. (zum Vergleich: Frage 23) Für einen Grossteil ist hierbei der Bekanntheitsgrad des Sprechers sekundär.

Beispielsweise wurden bei „Max Payne 2“ zwar zwei professionelle Schauspieler, die die beiden Hauptfiguren mimen, engagiert (Timothy Gibbs und Kathy Tong) doch die Synchronstimmen beider Charaktere wurden von eher unbekannten Schauspielern übernommen. (James McCaffrey und Wendy Hoopes). Auch bei „Half Life 2“ wurden alle Stimmen von eher unbekannten Sprechern aufgenommen, und doch liegen beide Spiele in Punkto Synchronsprecher Qualität ganz weit vorne.

34. Hast du schon einmal von EAX / EAX Advanced HD gehört?

wenn Frage 34 zutrifft

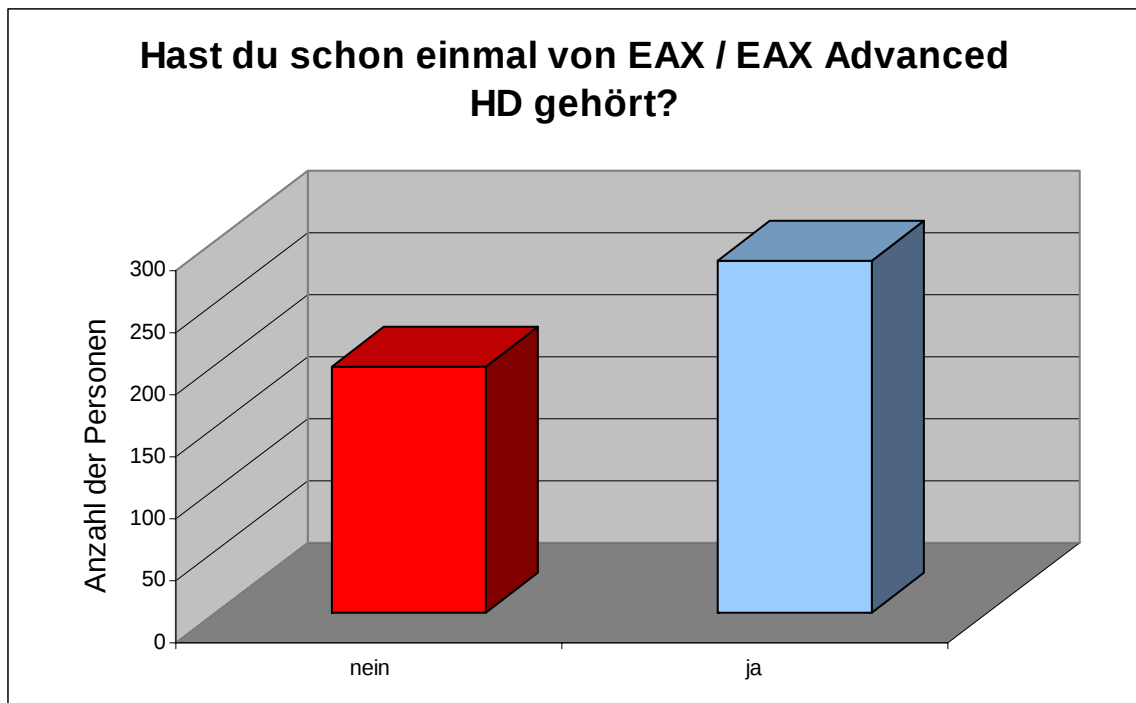
35. Verwendest du EAX wenn es von einem Computerspiel angeboten und auswählbar ist?

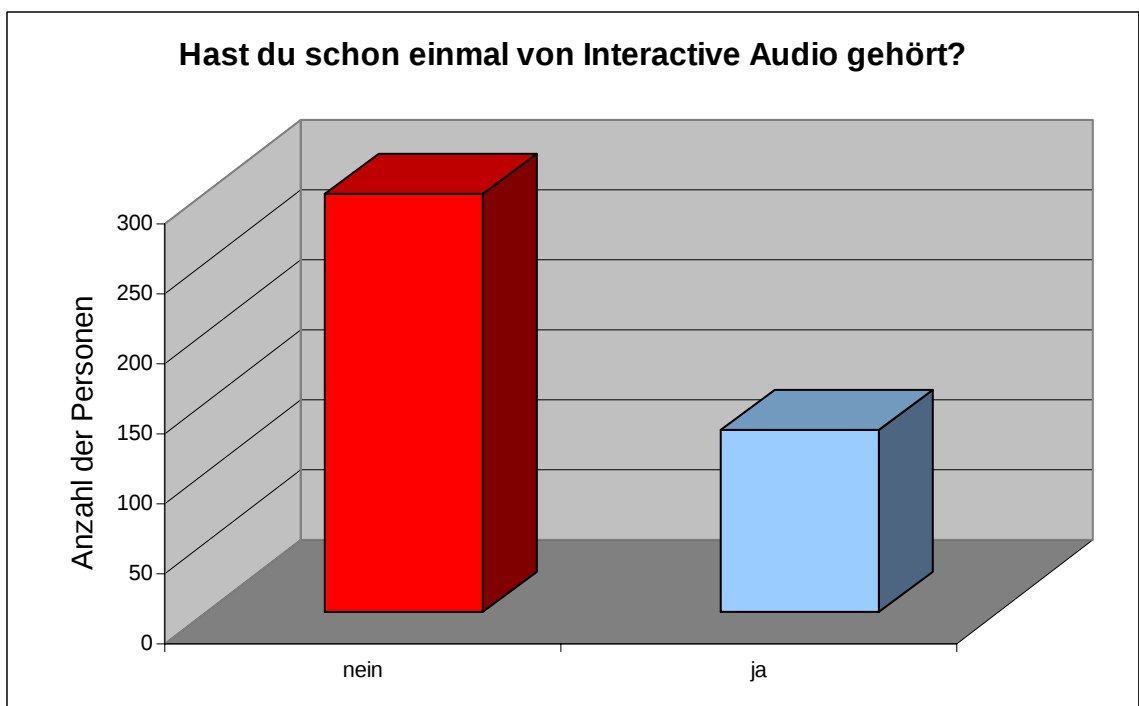
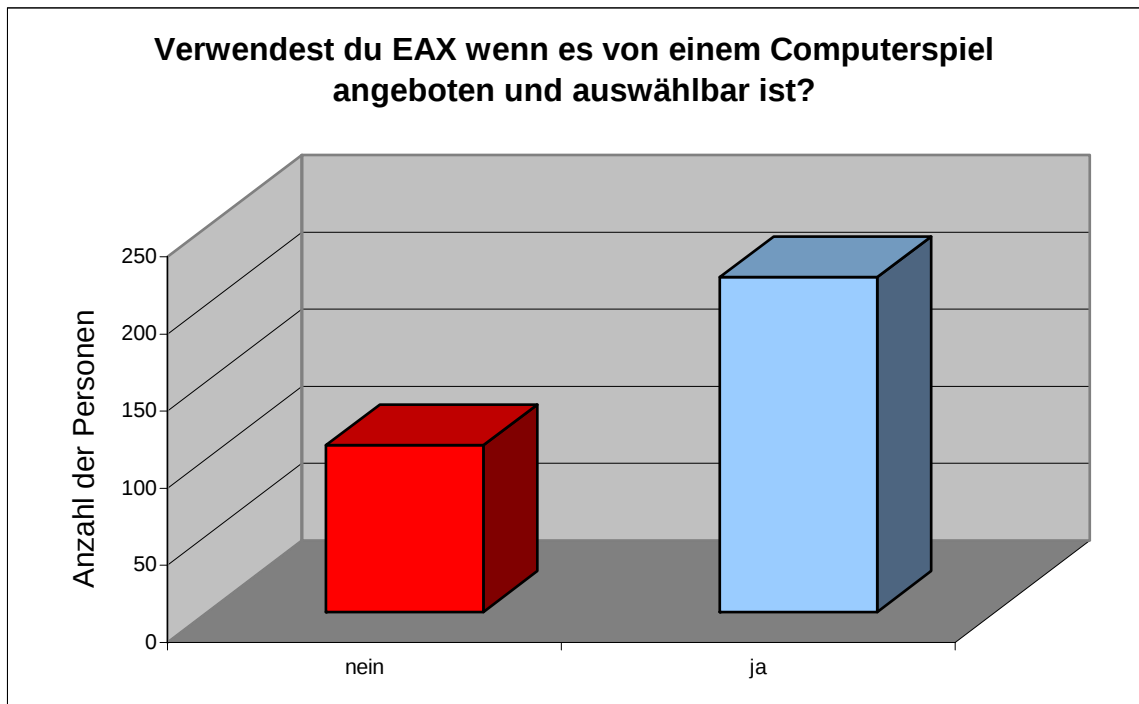
36. Hast du schon einmal von Interactive Audio gehört?

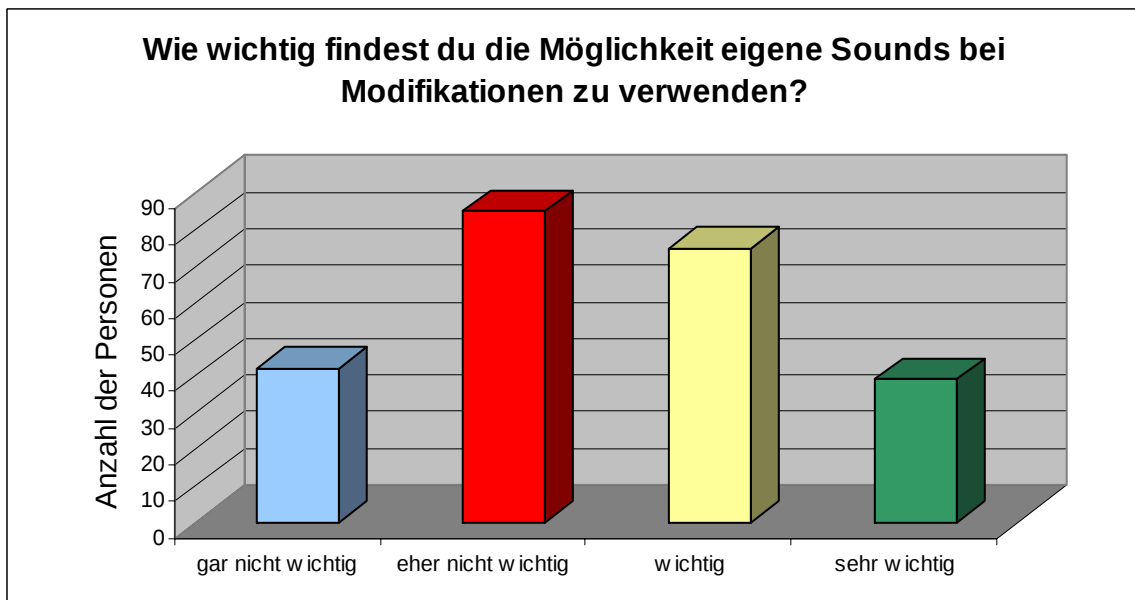
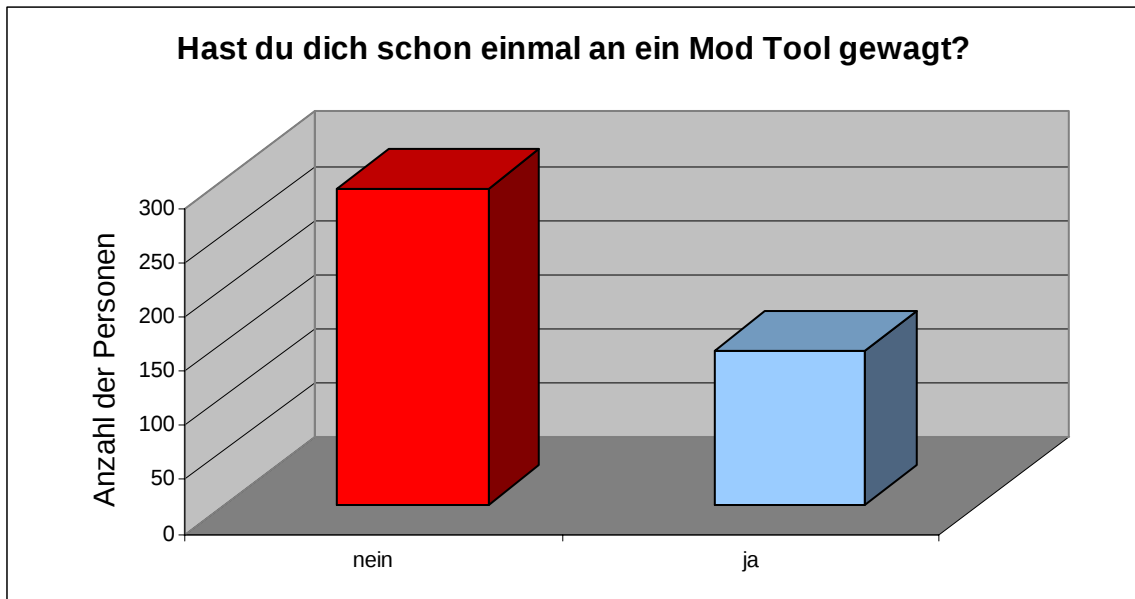
37. Hast du dich schon einmal an ein Mod Tool gewagt?

wenn Frage 37 zutrifft

38. Wie wichtig findest du die Möglichkeit eigene Sounds bei Modifikationen zu verwenden?







Die Fragen 34 bis 38 beschäftigen sich mit dem technischen Fachwissen der teilgenommenen Personen. Die Ergebnisse zeigen, dass ein nicht zu verachtender Teil der Teilnehmer in technischen Fragen bezüglich Sound Design nicht gut informiert zu sein scheint. So geben 40% der Befragten an, noch nie etwas von EAX bzw. EAX Advanced HD gehört zu haben, was doch etwas verwundert, da EAX von vielen aktuellen Spielen angeboten wird und dementsprechend auch als Kaufargument u.a. auf der Verpackung gültig gemacht wird. Im Gegensatz dazu wird jedoch EAX, bei Möglichkeit, im Spiel vom Grossteil verwendet.

Die Anzahl der Personen die eigene Sounds bzw. keine eigenen Sounds in Modifikationen verwenden (wollen) ist relativ ausgeglichen.

39. Mit welchem Soundsystem ist dein Computer ausgestattet?

wenn Antwort der Frage 39 nicht 'stereo' ist

40. Wieso hast du dich für den Kauf eines Surround-Sound-Systems entschieden?

wenn Antwort der Frage 39 'stereo' ist

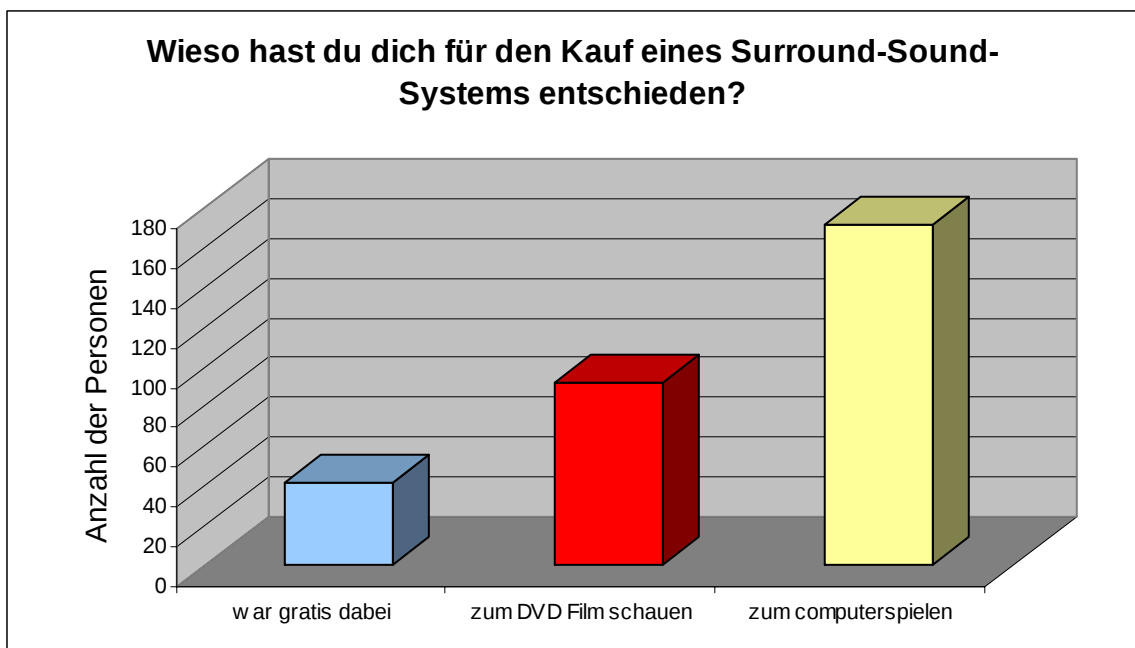
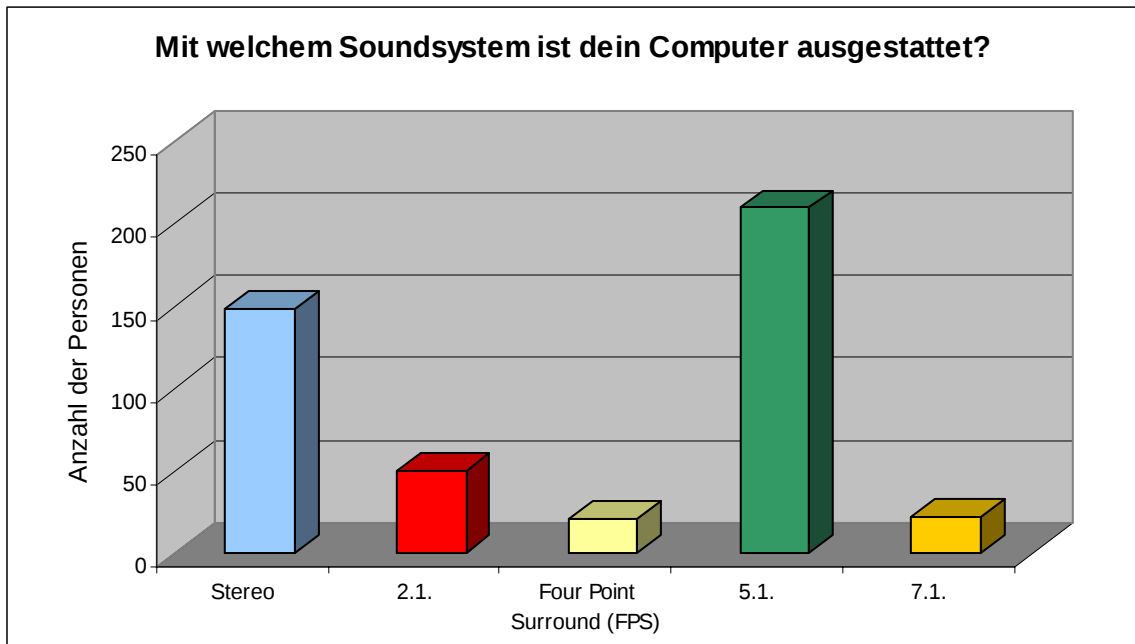
41. Wäre besonders guter Sound in einem Videospiel für dich ein Grund dir neue Soundhardware (Soundkarte oder Boxensystem) zuzulegen?

wenn Antwort der Frage 41 'ja' ist

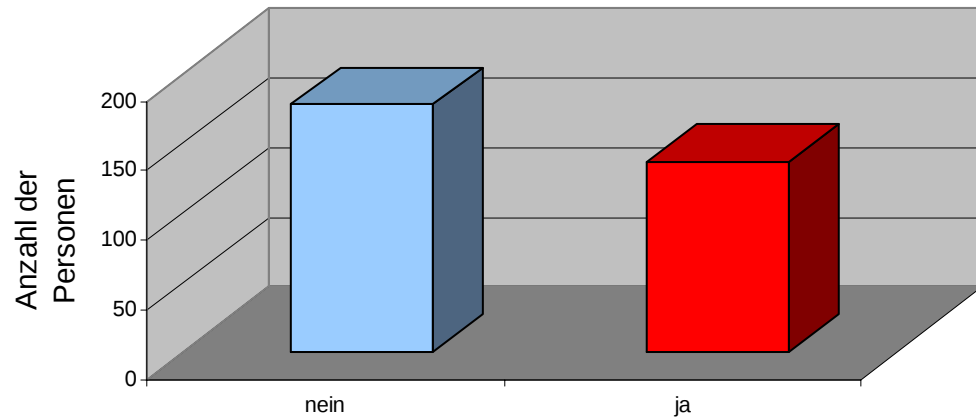
42. Wie viel Geld würdest du maximal für eine neue Soundkarte ausgeben?

wenn Antwort der Frage 41 'ja' ist

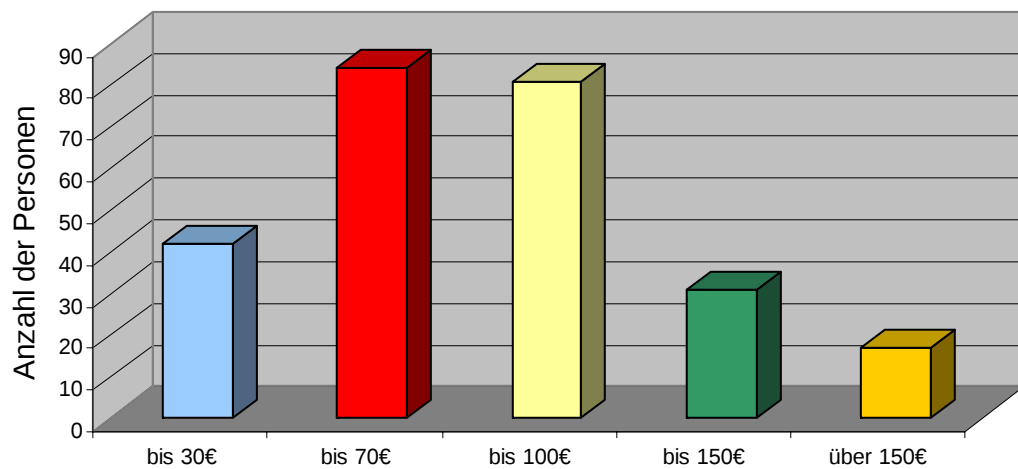
43. Wie viel Geld würdest du maximal für ein aktuelles Surroundsound Boxensystem ausgeben?

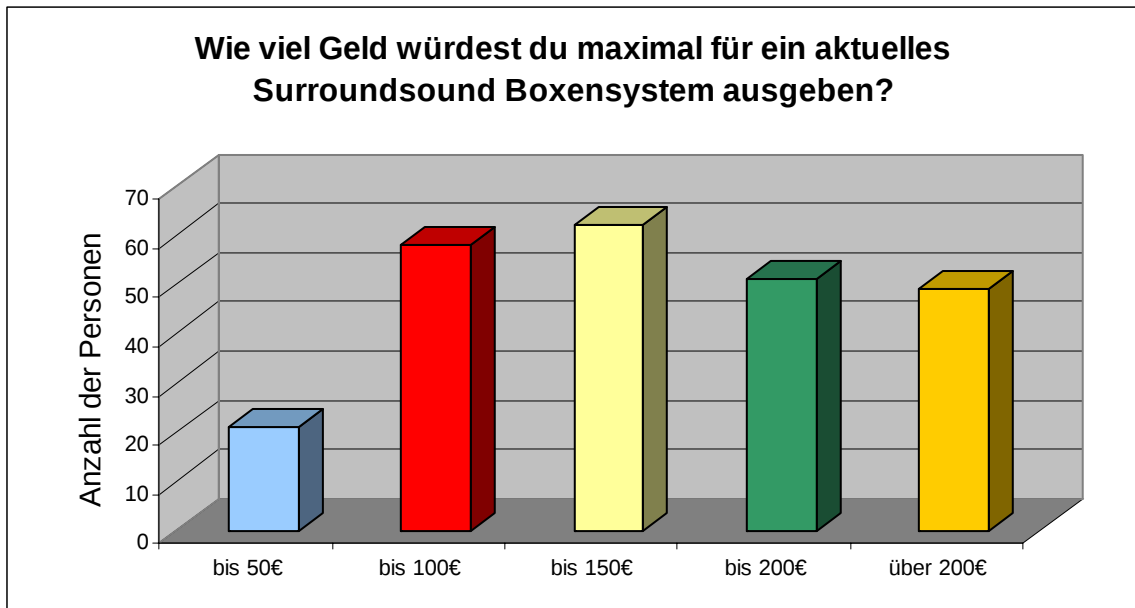


Wäre besonders guter Sound in einem Videospiel für dich ein Grund dir neue Soundhardware (Soundkarte oder Boxensystem) zuzulegen?



Wie viel Geld würdest du maximal für eine neue Soundkarte ausgeben?





Die letzten 5 Fragen beschäftigen sich mit der Sound Hardware, die der Teilnehmer zu Hause sein Eigen nennt.

Von 452 Personen haben etwas weniger als die Hälfte ein 5.1 System, gefolgt von 33% der User, die ein Stereo System besitzen. Hier zeigt sich wohl am deutlichsten, dass gutes Audio Design, vor allem im Surround Sound Bereich, immer mehr Leute dazu bewegt, sich bessere Sound Hardware zuzulegen. Ein Grossteil jener Surround Sound System Besitzer gibt sogar an, sich das System extra für die Wiedergabe von Videospielen gekauft zu haben, wobei für etwa 45% des Restes gutes Sound Design sogar den Kauf eines aktuellen Sound Systems rechtfertigen würde. Zu den Anschaffungskosten lässt sich darüber hinaus noch aussagen, dass für den Grossteil die Kosten bei Soundkarten bis zu 100€, bei Surround Sound Boxen bis zu 150€, zu verkräften wären.

8. Versuch

Der auf den folgenden Seiten beschriebene Versuch wurde von mir am 30. April 2005, mit Hilfe von drei Freiwilligen durchgeführt.

Ziel des Versuches war es, herauszufinden, ob eine messbare Änderung im Verhalten der Spieler (Veränderung des Pulses) und somit eine Veränderung in der Intensität des Spielerlebnisses auftritt, wenn der Sound eines Videospieles ein bzw. ausgeschaltet ist.

Die Wahl des Computerspieles fiel nach der Auswertung des Fragebogens auf ID Softwares „Doom3“, da dieses in einem Grossteil der Kategorien, wie beispielsweise „Passendste Soundkulisse“, „Akustische Schockelemente“ oder „Spannendste Atmosphäre“ brillieren konnte. (siehe: Kapitel 6.2)

Die Wahl der Spieler wurde nach den Kriterien Erfahrung im Bereich Videospiele, täglicher Konsum von Videospielen und generelles Interesse an der Thematik Videospiele gewählt.

Spieler 1 ist ein begeisterter Videospieler, der täglich Computerspiele konsumiert und auch ein großes Interesse an der allgemeinen Thematik rund um Videospiele zeigt. Zusätzlich ist noch darauf hinzuweisen, dass Spieler 1 Doom3 bereits gespielt hatte, jedoch nur einen Teil davon.

Spieler 2 ist ein seltener Konsument von Computerspielen. Ebenso wie sein Gebrauch ist auch sein allgemeines Interesse an Videospielen eher begrenzt. Spieler 2 ist Doom3 völlig unbekannt.

Spieler 3 ist ebenfalls ein begeisterter Videospieler, der zwar nicht täglich aber öfters die Woche Computerspiele benutzt. Spieler 3 zeigt ebenfalls ein reges Interesse an der Thematik der Videospiele, aber Doom3 ist ihm, genau wie bei Spieler 2, unbekannt.

8.1 Versuchsanordnung

Der Versuch fand bei mir zu Hause an meinem Privat PC (Pentium IV 800MHz FSB, Radeon 9800 Pro, 1024MB Ram) statt. Soundtechnisch ist der PC mit einer Creative Live! Soundkarte ausgestattet und verfügt über ein 5.1 Surround Sound System von Logitech. Um die Messung des Pulses zu ermöglichen, wurde ein Pulsmessgerät der Firma Polar verwendet.

Doom3 unterstützt bis zu 7.1 und EAX Advanced HD.

8.2 Versuchsablauf

Zu Beginn des Versuches wurde der Ruhepuls der Probanden gemessen. Dazu wurde der Spieler in ein lockeres Gespräch verwickelt, um ein möglichst akkurates Ergebnis zu bekommen. Danach wurde der erste von zwei zuvor ausgewählten Levels ohne Sound gestartet. Die beiden Levels ähneln sich von Aufbau und Menge der Gegner.

Um eine möglichst abgeschottete Atmosphäre zu erzeugen und dem Spieler ein Gefühl zu geben dass er wirklich alleine spielt, wurde der Versuch am späten Abend, als es bereits dunkel war, durchgeführt. Ich setzte mich außerhalb des Sichtradius der Versuchsperson um den Puls in Abständen von 10 Sekunden zu notieren. Die Dauer pro Level wurde von mir auf 5 Minuten festgelegt.

Nach 5 Minuten wurde das Spiel unterbrochen und ich stellte dem Probanden folgende Fragen:

1. Bewerte die gesamte Atmosphäre des Spieles anhand folgender Skala, wobei 1 sehr gut darstellt und 6 sehr schlecht.

1 2 3 4 5 6

2. Wie konzentriert warst du beim Spielen, wobei 1 sehr konzentriert ist und 6 überhaupt nicht konzentriert.

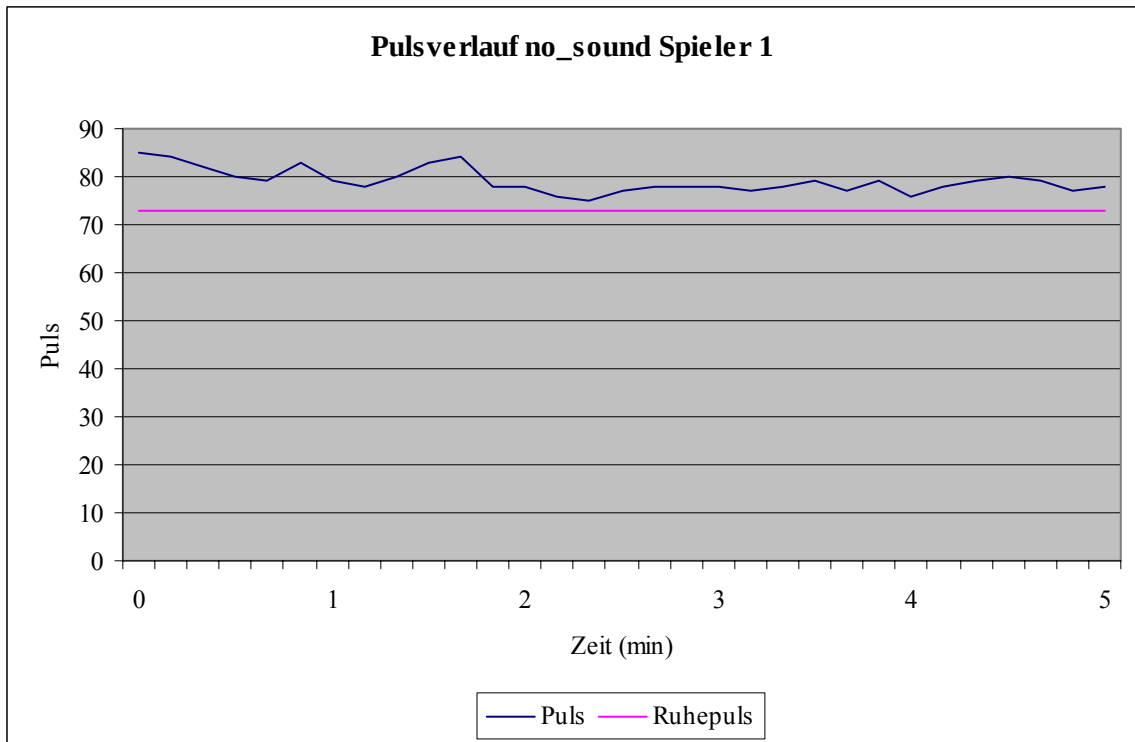
1 2 3 4 5 6

3. Wenn du nun aufgrund des sehr kurzen Testspieles eine subjektive Note für das Spiel vergeben müsstest, welche Note würdest du dem Spiel geben, wobei 1 sehr gut und 6 sehr schlecht repräsentiert.

1 2 3 4 5 6

Nachdem die Antworten notiert waren, wurde der zweite Level gestartet, diesmal mit Sound. Die Spieldauer war wieder auf 5 Minuten festgelegt. Danach wurden dem Probanden dieselben Fragen noch einmal gestellt.

8.3 Ergebnisse



Bewerte die gesamte Atmosphäre des Spieles anhand folgender Skala, wobei 1 sehr gut darstellt und 6 sehr schlecht.

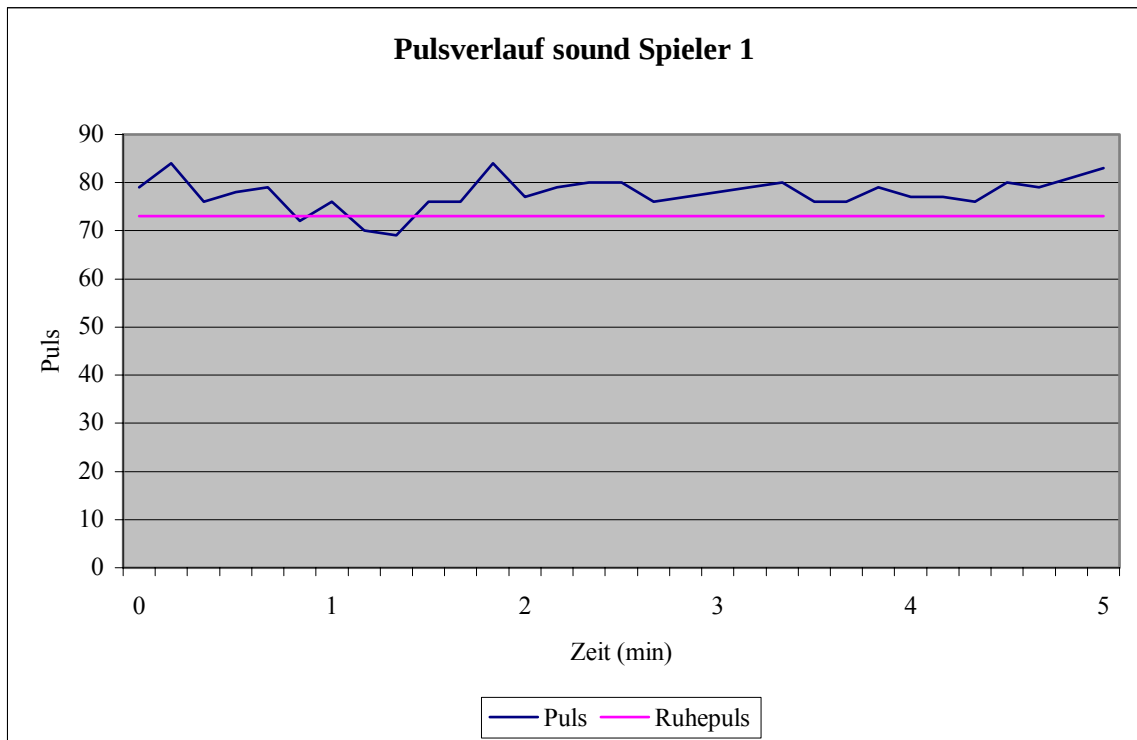
1 **(2)** 3 4 5 6

Wie konzentriert warst du beim Spielen, wobei 1 sehr konzentriert ist und 6 überhaupt nicht konzentriert.

1 **(2)** 3 4 5 6

Wenn du nun aufgrund des sehr kurzen Testspieles eine subjektive Note für das Spiel vergeben müsstest, welche Note würdest du dem Spiel geben, wobei 1 sehr gut und 6 sehr schlecht repräsentiert.

1 **(2)** 3 4 5 6



Bewerte die gesamte Atmosphäre des Spieles anhand folgender Skala, wobei 1 sehr gut darstellt und 6 sehr schlecht.

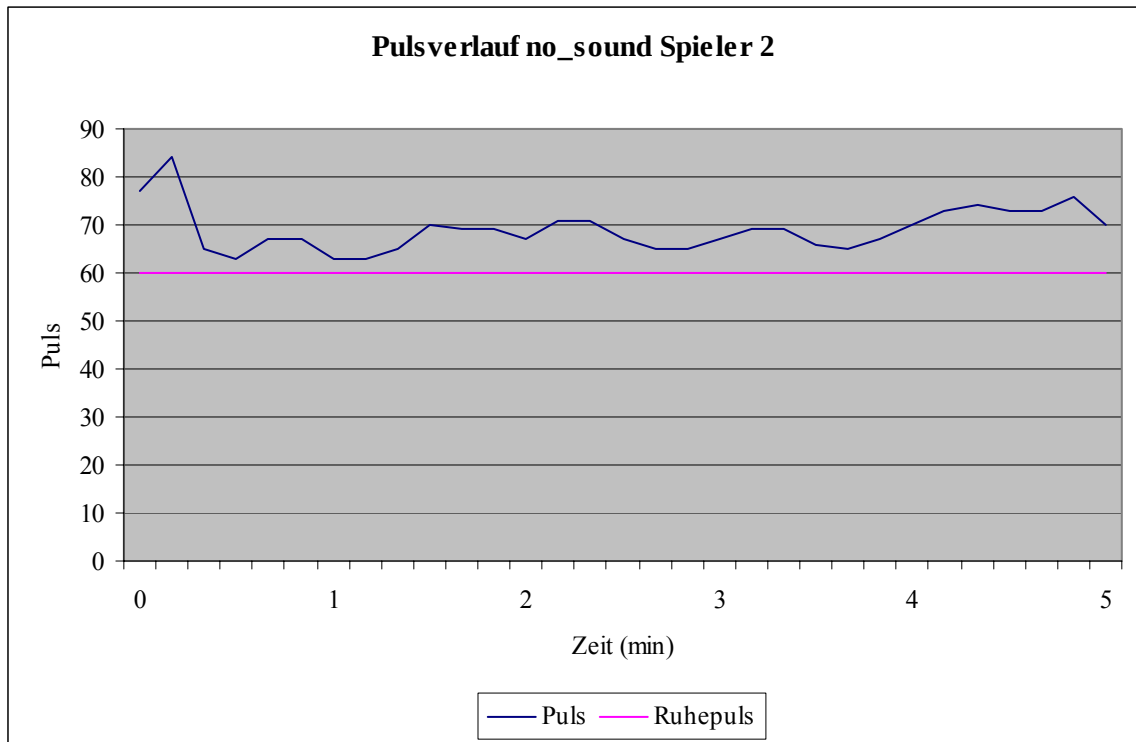
① 2 3 4 5 6

Wie konzentriert warst du beim Spielen, wobei 1 sehr konzentriert ist und 6 überhaupt nicht konzentriert.

1 ② 3 4 5 6

Wenn du nun aufgrund des sehr kurzen Testspieles eine subjektive Note für das Spiel vergeben müsstest, welche Note würdest du dem Spiel geben, wobei 1 sehr gut und 6 sehr schlecht repräsentiert.

① 2 3 4 5 6



Bewerte die gesamte Atmosphäre des Spieles anhand folgender Skala, wobei 1 sehr gut darstellt und 6 sehr schlecht.

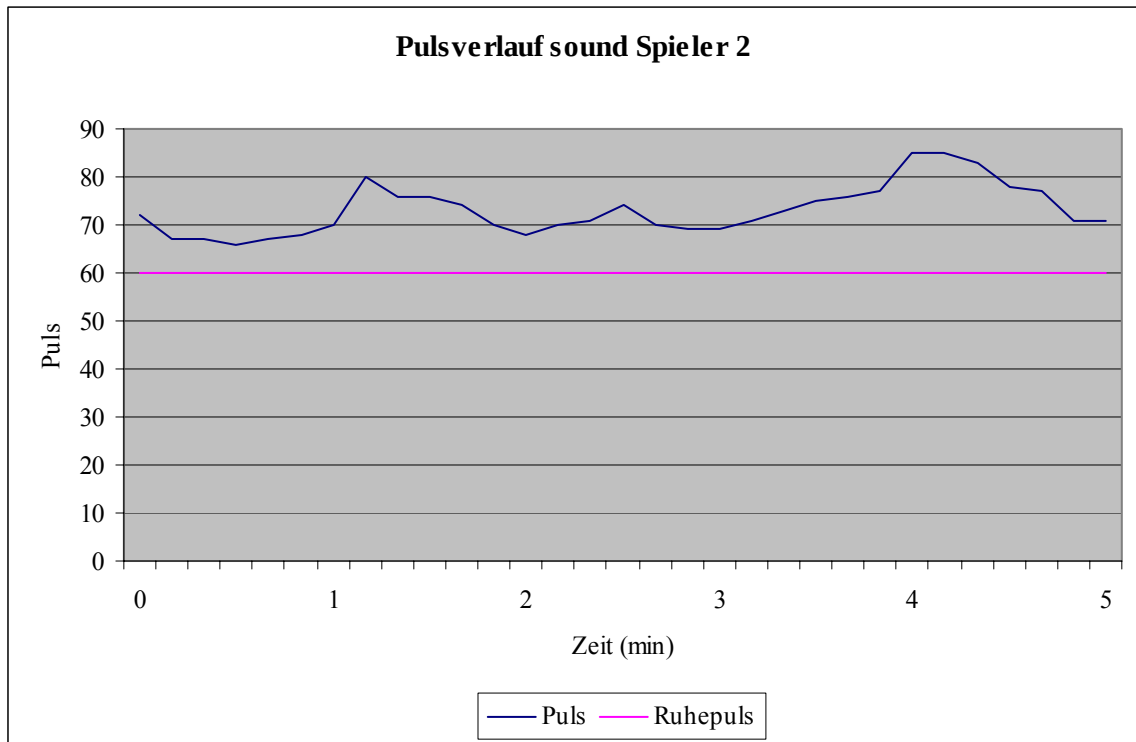
1 2 3 4 5 (6)

Wie konzentriert warst du beim Spielen, wobei 1 sehr konzentriert ist und 6 überhaupt nicht konzentriert.

1 2 (3) 4 5 6

Wenn du nun aufgrund des sehr kurzen Testspieles eine subjektive Note für das Spiel vergeben müsstest, welche Note würdest du dem Spiel geben, wobei 1 sehr gut und 6 sehr schlecht repräsentiert.

1 2 3 4 (5) 6



Bewerte die gesamte Atmosphäre des Spieles anhand folgender Skala, wobei 1 sehr gut darstellt und 6 sehr schlecht.

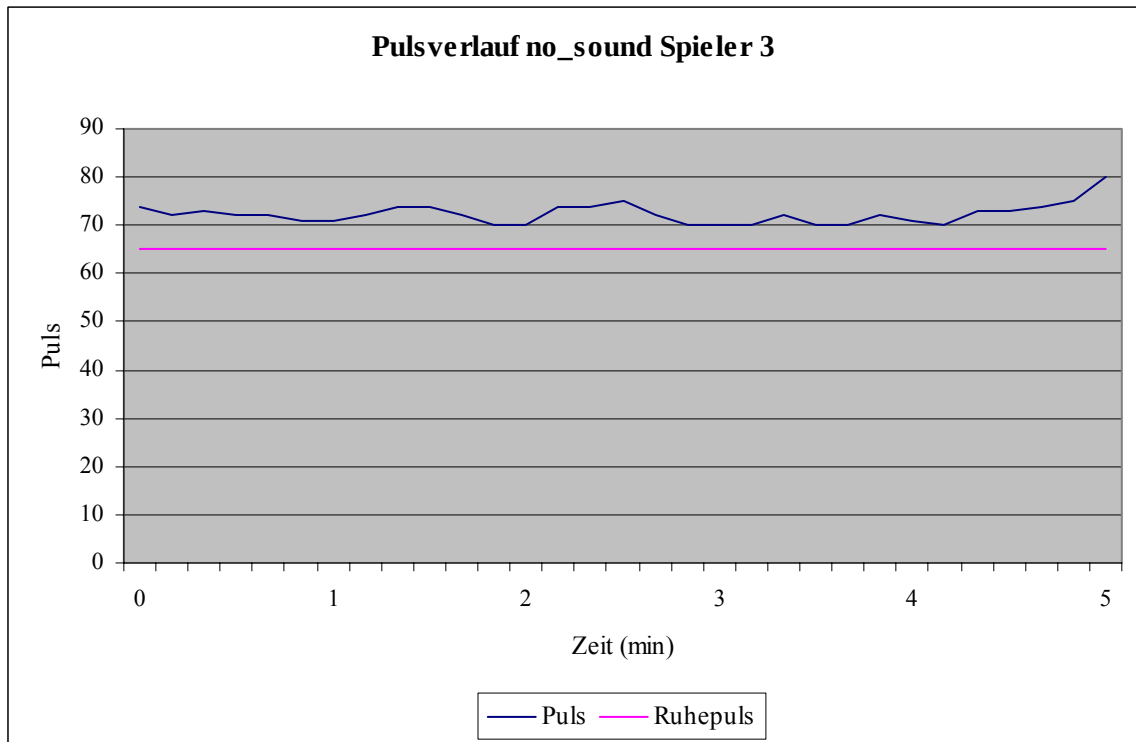
1 2 3 4 5 6

Wie konzentriert warst du beim Spielen, wobei 1 sehr konzentriert ist und 6 überhaupt nicht konzentriert.

1 2 3 4 5 6

Wenn du nun aufgrund des sehr kurzen Testspieles eine subjektive Note für das Spiel vergeben müsstest, welche Note würdest du dem Spiel geben, wobei 1 sehr gut und 6 sehr schlecht repräsentiert.

1 2 3 4 5 6



Bewerte die gesamte Atmosphäre des Spieles anhand folgender Skala, wobei 1 sehr gut darstellt und 6 sehr schlecht.

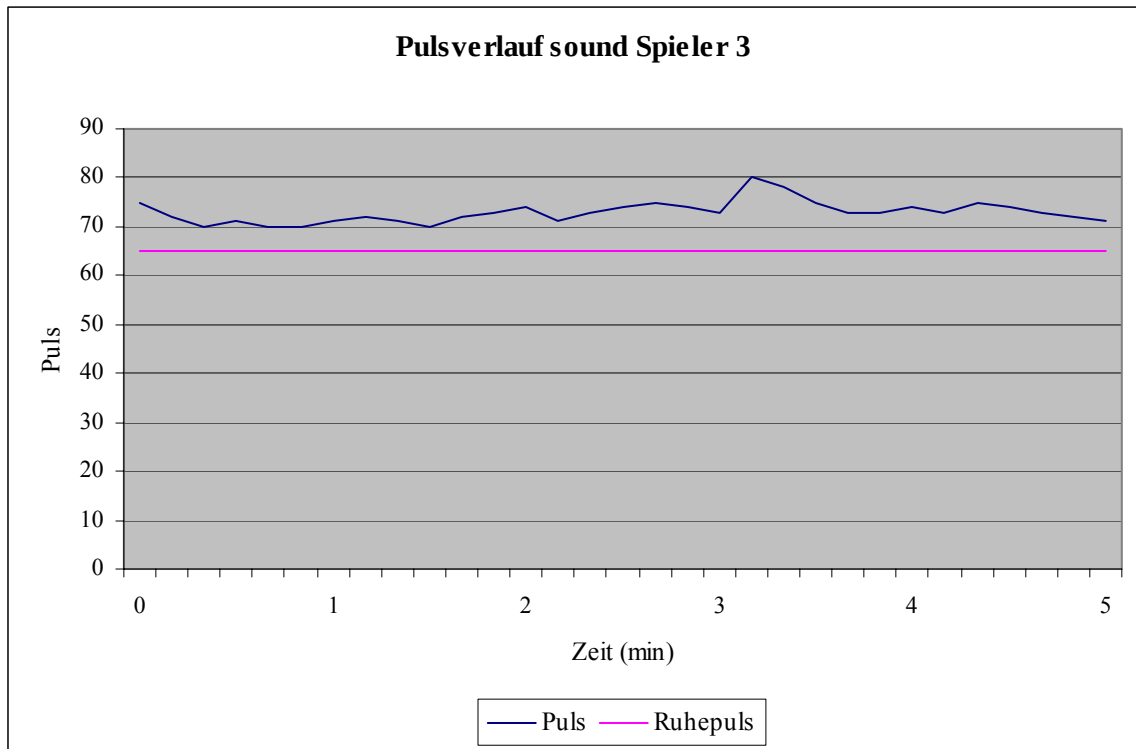
1 2 (3) 4 5 6

Wie konzentriert warst du beim Spielen, wobei 1 sehr konzentriert ist und 6 überhaupt nicht konzentriert.

1 2 (3) 4 5 6

Wenn du nun aufgrund des sehr kurzen Testspieles eine subjektive Note für das Spiel vergeben müsstest, welche Note würdest du dem Spiel geben, wobei 1 sehr gut und 6 sehr schlecht repräsentiert.

1 2 (3) 4 5 6



Bewerte die gesamte Atmosphäre des Spieles anhand folgender Skala, wobei 1 sehr gut darstellt und 6 sehr schlecht.

① 2 3 4 5 6

Wie konzentriert warst du beim Spielen, wobei 1 sehr konzentriert ist und 6 überhaupt nicht konzentriert.

1 ② 3 4 5 6

Wenn du nun aufgrund des sehr kurzen Testspieles eine subjektive Note für das Spiel vergeben müsstest, welche Note würdest du dem Spiel geben, wobei 1 sehr gut und 6 sehr schlecht repräsentiert.

1 ② 3 4 5 6

8.4 Interpretation

Die Pulsverläufe der Probanden waren etwas enttäuschend für mich, ich hätte mir zu Beginn des Versuches doch eine markante Erhöhung bei Hinzuschalten des Sounds erhofft. Vor allem hatte ich Stellen im Spiel gewählt, die eigentlich zu den Highlights des Spieles gehören und (zumindest bei mir) beim Spielen ein Gänsehautgefühl entstanden war. Mögliche Gründe für die marginalen Unterschiede der Pulsverläufe bei ausgeschaltetem und eingeschaltetem Sound sind möglicherweise die kurze Spieldauer und die Eingewöhnungsphase in die Steuerung des Spieles.

Die Probanden gaben nach den Versuchen in einem kleinen Gespräch an, nie wirklich vergessen zu haben, dass sie gerade einen Versuch durchführen und eine zweite Person im Raum sitzt und ihren Puls mitschreibt. Somit war eine wirkliche Vertiefung ins Spielgeschehen leider nicht möglich. Zusätzlich klagten Proband 2 und 3 über Probleme mit der Steuerung, da sie das Spiel zuvor nie gespielt hatten und somit auch Probleme hatten, sich positionstechnisch in der virtuellen Welt zurechtzufinden. Leider waren mir diese Probleme im Vorhinein nicht bewusst.

Zusätzlich muss man natürlich sagen, dass unter anderem auf Grund des Zeitdruckes, der bei der Erstellung einer Diplomarbeit entsteht, nicht die nötige Vorbereitung auf den Versuch gegeben war. Auch ist eine Anzahl von 3 Versuchspersonen kein wirklich repräsentatives Ergebnis für die breite Masse, doch zeigt der Versuch auch einige interessante Fakten in Bezug auf das Sound Design auf.

So waren die Pulsverläufe aller drei Versuchspersonen in (fast) jeder Situation über ihrem Ruhepuls und stellenweise bei eingeschaltetem Sound noch etwas, wenn auch marginal, höher.

Wirklich interessant sind jedoch die Antworten auf die Fragen die zwischen den Spieleinheiten gefragt wurden.

So wurde die empfundene Atmosphäre des Spieles, laut Angabe von allen drei Versuchspersonen als besser als ohne Sound bewertet. (S1 = Spieler1)

S1 2 -> 1

S2 6 -> 3

S3 3 -> 1

Ähnlich verhielt es sich auch mit den Angaben über die subjektive Benotung des Spieles.

S1 2 -> 1

S2 5 -> 4

S3 3 -> 2

In allen Fällen konnte das Spiel mit eingeschalteter Soundkulisse den Spieler besser überzeugen.

Interessant verhielt es sich mit den Angaben über die Konzentration während des Spielens. Während Proband 1 und 2 angaben, ohne Sound mehr auf das Spielgeschehen konzentriert gewesen zu sein, so gab Versuchsperson 3 an, sich mit Sound auf das Spielgeschehen mehr konzentriert zu haben.

S1 2 -> 2

S2 3 -> 4

S3 3 -> 2

Spieler 1 und 2 gaben an, durch das Fehlen des Sounddesigns mehr auf die reine visuelle Darstellung gebunden zu sein und dadurch nicht in der Lage gewesen sind, beispielsweise von hinten heranrückende Feinde frühzeitig wahrzunehmen und entsprechend zu reagieren. Dadurch war die empfundene Konzentration auf das Spiel im ersten Spiel (ohne Sound) größer.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass zwar mit dem Versuch, aufgrund der relativ kurzen Laufzeit und der geringen Anzahl an Versuchspersonen, keine signifikante und eindeutige wissenschaftliche Aussage gemacht werden kann.

Jedoch wurde gezeigt, dass Sound Design in Computerspielen einen sehr wichtigen und nicht zu unterschätzenden Teil darstellt und in Kombination mit einer hervorragenden Optik immer lebendigere und realer wirkende virtuelle Spielwelten erschafft werden können.

Man darf auf die Zukunft der Videospiele gespannt sein.

9. Literatur- und Quellenverzeichnis

AAA Capital Atlantic

<http://www.delevie.de/medienfonds/atlantic/gamefonds.html>

24.05.2005

Andrae-Noris Zahn AG (ANZAG)

<http://www.gesundheit.de/anatomie-lexikon/sinnesorgane/gehoersinn.shtml>

27.04.2005

CompuTec Media AG, PC Games Online

<http://www.pcgames.de>

10.05.2005

Dengel Simon-Bernd

Seminararbeit „Algorithmen für Computerspiele“

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme Universität Stuttgart

Gehrke Sven & Peper Melanie

<http://www.multikonsolero.de>

27.04.2005

Göhler Stefan

<http://www.fh-sw.de/sw/fachb/et/halbl/mod188/index.htm#in>

27.04.2005

Heise Zeitschriften Verlag

www.heise.de

10.05.2005

IDG Entertainment Verlag GmbH

<http://www.gamestar.de/hardware/einkaufsfuehrer/index.php?rubrik=sound>

27.04.2005

Kremer Martina

http://www.dasp.uni-wuppertal.de/ars_auditus

13.04.2005

Menshikov Alexsei

<http://www.digit-life.com/articles2/sound-technology/index.html>

16.06.2005

RAD Game Tools, Inc.

<http://www.radgametools.com/miles.htm>

28.04.2005

Raffaseder Hannes

Audiodesign

Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag

Carl Hanser Verlag München Wien

2002

ISBN 3-446-21828-9

Schilling Christian

<http://www.geschi.de/glossar/geschi/EAX.html>

28.04.2005

Schütz Tibor

Seminararbeit „Sound-Technologien“

Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme Universität Stuttgart

Spieß Wolfgang

<http://crossfire->

[designs.de/index.php?lang=de&what=articles&name=showarticle.htm&article=soundcar](http://crossfire-designs.de/index.php?lang=de&what=articles&name=showarticle.htm&article=soundcards)
ds

27.04.2005

Studio 96

<http://www.studio96.de/masterframe.html>

02.05.2005

Tillmann H.G. & Schiel F.

<http://www.phonetik.uni-muenchen.de/AP/APHome.html>

27.04.2005

Wikimedia Foundation Inc.

http://de.wikipedia.org/wiki/Dolby_Surround

02.05.2005

Wikimedia Foundation Inc.

<http://de.wikipedia.org/wiki/Videospiele>

27.04.2005

10. Danksagung

Vielen herzlichen Dank für die Unterstützung und Inspiration!

Dipl.-Ing. Hannes Raffaseder, Dipl.-Ing. Franz Zotloeterer, Gerald Schöllhammer, Gernot Ottowitz (FH Salzburg), Dr. Thomas Ertl (UNI Stuttgart), Guido Reina (UNI Stuttgart), Mag. Jörg Sommerfeld, Thomas Friedrich, Stefan Mak, Josef Korntheuer, Bernhard Lang, Pamela Kern, allen Teilnehmern der Umfrage und dem Jahrgang 01 für Telekommunikation & Medien an der Fachhochschule St. Pölten für 4 wunderschöne Jahre.