

Soundchip-Musik

Computer- und Videospielemusik von 1977-1994

Magisterarbeit

Universität Lüneburg

Angewandte Kulturwissenschaften

Musik

Erstgutachter: Dr. Rolf Großmann

Zweitgutachter: Dr. Christian Bielefeld

Vorgelegt am 04.08.2005 von:

Nils Dittbrenner

Bertha-von-Suttner-Str. 10

21335 Lüneburg

Matrikelnummer 119690

nils@pingipung.de

04131-209080

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
2 Technische Voraussetzungen: Soundchips	4
2.1 Die Frühzeit: Computerspiel-Sound ohne Soundchips	7
2.2 PSG-Soundchips (1977-1982)	8
2.2.1 Der Stella / TIA – Soundchip des Atari VCS.....	9
Der Stella / TIA unter musikalischen Gesichtspunkten.....	10
2.2.2 Atari Pokey.....	11
2.2.3 General Instruments AY-3-891x / Yamaha YM 2149 SSG.....	14
Programmierung des AY-Chips.....	16
2.2.4 Texas Instruments SN 76489 AN.....	19
2.3 Weiterentwickelte PSG-Soundchips	20
2.3.1 der SID-Chip des C64 (MOS 6581/ 8580 SID).....	21
2.3.1.1 Klangerzeugung und technische Übersicht.....	21
2.3.1.2 Beschreibung der Programmierung anhand der Registertabelle	23
2.3.2 Der 2A03 im Nintendo Famicom / Entertainment System.....	26
Funktionsweise der Klangerzeugung.....	27
2.3.3 PSG-Sound in den 1990ern: der Nintendo Game Boy	29
2.4 Die Bedeutung der PSGs für Soundchip-Musik	30
Exkurs: Die japanische Soundtrackkultur.....	33
2.5 FM-Synthese und Sampling: neue Möglichkeiten der Klangerzeugung	34
2.5.1 Das NEC PC-Engine: zwischen PSG-Sound und Sampling.....	35
2.5.2 FM-Synthese: die Yamaha YM-Soundchips.....	36
2.5.3 Homesampling: Der Commodore Amiga	37
Entwicklung der Tracker und MOD-Dateiformate.....	38
2.5.4 Das Sega Mega Drive.....	40
2.5.5 Nintendo Super Nes: DSP für ADPCM / Sample Playback.....	41
2.5.6 Die Bedeutung der Sampling-Soundchips für Soundchip-Musik.....	42
2.6 Vom PC-Speaker bis General MIDI: Klangerzeugung im PC (1981-1994)	44
2.6.1 Der PC-Speaker.....	44
2.6.2 IBM PC Junior / Tandy 1000.....	46
2.6.3 Die Verwendung von FM-Chips im PC.....	46
2.6.4 Die Wavetable-Synthesizerkarten von Roland.....	48
2.6.5 Die Entwicklung der PC-Soundkarten über 1991 hinaus.....	49
2.7 Zwischenfazit: Eigenheiten von Soundchips	51
3 Strategien der Gestaltung von Computerspielmusik für Soundchips	53
3.1 Musik in interaktiven Spielen	54
3.1.1 Eine Typisierung der verschiedenen Spielmusiken.....	55
3.1.1.1 Sekundäre Spielmusik.....	56
3.1.1.2 Ingame Spielmusik.....	58

3.1.2 Adaptive Audio / adaptive Musik für Soundchips.....	61
3.1.2.1 Adaptivität durch Synchronisation von Eingabe und Musikwiedergabe	62
3.1.2.2 Adaptivität durch Bruch / Wechsel der Musik.....	63
3.1.2.3 Adaptivität bei Fortschritt.....	64
3.1.2.4 Adaptive Soundeffekte: die Technik des Mickey Mousing.....	65
3.1.3 Zwischenfazit: Funktionale Aspekte von Computerspielmusik.....	68
3.1.4 Fallbeispiel: Bubble Bobble.....	69
3.2 Strategien der Gestaltung im Spiegel der technischen Limitierungen.....	74
3.2.1 Beschränkte Polyphonie.....	76
3.2.2 Limitierungen der Klangfarbe.....	79
3.2.3 Beschränkter Speicherplatz.....	81
3.2.4 CPU-Last und weitere Beschränkungen „von außen“	84
3.3 Zwischenfazit: Computerspielmusik im Spiegel ihrer Paradigmen.....	86
3.4 Plattformübergreifender Hörvergleich.....	88
Parodius.....	89
Bubble Bobble.....	90
The Secret of Monkey Island.....	91
4 Populäre Soundchip-Musik.....	92
4.1 Sound Culture.....	93
4.2 Verfahrensweisen und Tools.....	95
4.3 Genre-Bildung.....	98
4.4 Chiptunes.....	100
4.5 Micromusic.....	103
5 Fazit und Ausblick.....	105
Anhang	
Bibliographie	
Computerspielmusik.....	109
Computerspielhardware und -software.....	110
Scans von originalen Datenblättern / Application Manuals	112
FAQs / Anleitungen zu Spielkonsolen und Soundchips.....	113
Sonstige Sekundärliteratur.....	114
vom Autor geführte Interviews.....	115
Abbildungsverzeichnis.....	115
Tabellenverzeichnis.....	116
Erwähnte Computerspiele.....	117
Hörbeispiele.....	118
Internet-Linkverzeichnis.....	122
Erklärung nach § 25 (6) der Magisterprüfungsordnung.....	125

1 Einleitung

Computerspiele¹ sind in den letzten Jahren zunehmend in den Mittelpunkt wissenschaftlicher Betrachtung gerückt. Vor allem die Literatur- und Medienwissenschaften sowie ihnen verwandte Disziplinen (wie die Film- und Kommunikationswissenschaften) widmen diesem vergleichsweise jungen Medium immer mehr Aufmerksamkeit. Anders als etwa dem Bereich der narrativen Eigenheiten oder der grafischen Repräsentation ist dem Thema Musik und Klang in Computerspielen von der Wissenschaft bisher kaum Interesse zuteil geworden. Dennoch sind allein für die diese Arbeit betreffenden Computerspielplattformen von Ende der 1970er bis Mitte der 1990er Jahre tausende verschiedene Spiele² erschienen, ein Großteil von ihnen mit Musik unterlegt. Allein der Quantität wegen scheint eine qualitative, (musik-)wissenschaftliche Auseinandersetzung mit dem Thema daher überfällig. Die wenige verfügbare Fach-Literatur zu der Programmierung von Musik und Klang³ für Computerspiele ist entweder stark praxisorientiert oder stammt aus der Disziplin der Informatik und befasst sich mit der Programmierung der neueren Plattformen bzw. deren Entwicklungsumgebungen⁴. Eine umfassende geschichtliche Aufarbeitung ebenso wie eine Vorstellung der technischen Voraussetzungen für Musik in Computerspielen ist bislang nicht geleistet worden. Der Eigenklang von Computerspielmusik der 1980er Jahre erlebt seit Ende der 1990er Jahre ein regelrechtes 'Comeback' in der populären elektronischen Musik, die auf gesampelten oder emulierte Klängen von Spielen basieren. Im Internet hat sich eine lebendige Musikkultur rund um dieses Phänomen gebildet.

Der angesprochene Eigenklang von Soundchip-Musik markiert eines der Hauptinteressen dieser Arbeit, da scheinbar die Limitierungen der Klangerzeugung eine gewisse Simplizität bedingen, die den Soundchip-Klang im Vergleich zu anderen elektronischen Klangerzeugung wie Synthesizern deutlich abheben.

Für Soundchip-Musik⁵ gilt der Grundsatz, dass es sich nicht um klassische notierte, sondern vielmehr um Medienmusik handelt, die, wie der Musik- und Medienwissenschaftler Rolf Großmann erläutert, durch „*die Zugehörigkeit zu einem durch spezifische technische Voraussetzungen geprägten Bereich musikalischen Handels*“ (Großmann 1997a: 239) charakterisiert ist. Großmann erläutert den Begriff Medienmusik in starker Abhängigkeit zu den sog. Audio-Medien, auf denen Musik fixiert ist. Hier offenbart sich eine Besonderheit von Soundchip-Musik, da sie i.d.R. nicht in aufgenommener Form vorliegt, sondern während des Computerspielens als Ergebnis einer Prozessierung von Daten in den sog. Soundchips über Lautsprecher ausgegeben

¹ In dieser Arbeit soll aus Gründen der besseren Lesbarkeit der Begriff „Computerspiele“ für alle digitalen Bildschirmspiele (Computer-, Video-, Handheld- und Automaten Spiele) gebraucht werden.

² Den Übersichten Forsters (2005) zufolge sind es sogar über 15000 Titel für die Plattformen zwischen 1977 und 1993. Da jedoch nicht jedes Spiel Musik enthält und teilweise zahlreiche Konvertierungen der selben Spiele erschienen, wurde die Zahl an dieser Stelle relativiert. Deutlich wird jedoch, dass eine Menge für Computerspiele programmierte Soundchip-Musik existiert.

³ Der Begriff Klang wird in Abgrenzung zur Musik verwendet, um nicht mit den Begriff „Sound“ zu kollidieren, der in dieser Arbeit vor allem im Hinblick auf die „Sound Culture“ von Soundchip-Musik benutzt wird. Dennoch ist „Sound“ für ein einzelnes Klangobjekt in Computerspielen ein gängiger Begriff. In der vorliegenden Arbeit wird für ein einzelnes Klangobjekt daher der Begriff „Soundeffekt“ verwendet.

⁴ Der Programmierung von *Game Audio* widmen sich beispielsweise Boer (2003) sowie Turcan & Wasson (2004). Marks (2001) und Sanger (2003) liefern in ihren sehr praxisbezogenen Publikationen einen Einblick in das 'Berufsbild' des Computerspielmusik-Komponisten.

⁵ Unter Soundchip-Musik soll grundsätzlich jene Musik verstanden werden, die ganz oder teilweise von der Klangerzeugung von Soundchips (Kapitel 2) abhängt.

wird⁶. Ohne eine grundlegende Beschreibung der technischen Voraussetzungen wie der spezifischen Medienrealität von Soundchip-Musik kann eine Analyse des Phänomens also kaum zu einem Erkenntnisgewinn führen:

„Gerade für ein Verständnis, für systematische Beschreibung und Analyse von medienmusikalischen Vorgängen führt eine allein auf Klangstrukturen oder deren kompositorische Regeln ausgerichtete Theoriebildung in eine Sackgasse. Klangstrukturen müssen zwar auch dort untersucht werden, ein neuer Fokus kann jedoch erst dann sinnvoll auf diese gerichtet werden, wenn zumindest die Grundbedingungen ihrer spezifischen Existenz in der [...] 'Medienrealität' geklärt sind“ (Großmann 1997b: 65, Hervorh. i. O.).

Aus dem Antrieb heraus, die Grundbedingungen von Soundchip-Musik im Sinne der spezifischen Medienrealität umfassend darstellen zu wollen, soll die vorliegende Arbeit mit einer recht detaillierten Vorstellung der verschiedenen Soundchips beginnen. Diese Vorstellung setzt ein umfassendes Vorwissen aus dem Bereich der elektronischen Klangerzeugung voraus: musikwissenschaftliche Fachbegriffe insbesondere der elektronischen Klangsynthese wie Oszillator, LFO, Hüllkurve, Ringmodulation etc. werden nicht weiter erklärt⁷. Gleichzeitig wird auch im Hinblick auf den Umfang der Arbeit eine Selektion vorgenommen. So werden jene Soundchips sehr viel ausführlicher beschrieben, die einen größeren Einfluss auf die populäre Soundchip-Musik⁸ genommen haben, als jene, die den Übergang zu neueren Verfahren der Musik- und Klangerzeugung in Computerspielplattformen (FM-Synthese und Digital Audio) markieren. Den zeitlichen Rahmen markiert das Aufkommen der ersten programmierbaren Heimkonsole, das ATARI VCS (1977) sowie die breite Implementierung von Sampling in CD-Qualität durch die CD-ROM-Technologie, welche spätestens mit der SONY PLAYSTATION (1994) für Computerspiele zum Standard wurde. Durchgängige Computerspielmusik wird indes erst ab Anfang der 1980er Jahre in den Spielen implementiert.

Die *Medienrealität* von Soundchip-Musik für Computerspiele umfasst neben den technischen Voraussetzungen selbstverständlich auch ihre Anwendung im jeweiligen Spiel. Daher schließt sich eine Auseinandersetzung mit der funktionellen Einbindung von Musik und Klang im Rahmen interaktiver Spiele und mit den daraus folgenden formalen Besonderheiten an. Auch diese Auseinandersetzung hat bisher nicht stattgefunden, allein der Bereich *adaptiver* Musik und Soundeffekte wird anhand aktueller Beispiele mehr und mehr untersucht (vgl. Kapitel 3.1.2). Die Implikationen für Soundchip-Musik durch ihre Verwendung in Spielen werden im Kapitel 3 dieser Arbeit erläutert, indem die verschiedenen in Computerspielen zu findenden Anwendungen musikalischer Untermalung kategorisiert werden. Auf die bei den Spielern⁹ stattfindenden Rezeptionsprozesse wird nicht detailliert eingegangen.

⁶ Ebenso verhält es sich mit den relativ neuen, auf der Emulation von Soundchips basierenden Playern und PlugIns, welche die als Dateien gespeicherten, aus den Spielen extrahierten Musikdaten wiedergeben.

⁷ Wenig in der Materie der elektronischen Klangerzeugung versierten Lesern sei daher die Lektüre von z.B. Ruschkowski 1998 (insb. S.149ff) empfohlen

⁸ Unter „populärer Soundchip-Musik“ wird diejenige verstanden, die im Rahmen der populären elektronischen Musik auf Basis einer „Sound Culture“ von Soundchip-Musik entsteht (vgl. Kapitel 4).

⁹ In dieser Arbeit wird einer besseren Lesbarkeit zugute bei der unbestimmten Nennung von Akteuren die jeweils männliche Form bevorzugt.

Da neben den eigentlichen Klangerzeugern auch die Bedingungen ihrer Entstehung auf die erklingende Musik einen großen Einfluss nehmen, beschreibt das darauf folgende Kapitel die Beschränkungen und die Strategien der Gestaltung von Computerspielmusik. Wiederum ist die Literaturlage für diese Kapitel als dürftig zu klassifizieren. Über die Programmierung für Soundchips finden sich neben einigen Anwender-orientierten Ratgebern keine Quellen. Daher wurde hierfür die Methode der themenzentrierten, qualitativen Befragung gewählt, um Informationen zu erhalten. Hierfür wurden Telefoninterviews mit David Warhol, Michael Pummell und Chris Hülsbeck geführt, die als Komponisten und Programmierer von Computerspielmusik jahrelange Erfahrung gesammelt haben.

Um eine möglichst große Anschaulichkeit zu gewähren, liegt dieser Arbeit eine CD-ROM bei, auf der sich neben Hörbeispielen¹⁰ auch Emulatoren und sog. ROM-Images befinden, welche die besprochenen Spiele mit kleinen Abstrichen auch heute noch erfahrbar machen. Die in der Arbeit grundsätzlich zu konstatierende Nähe zum Gegenstand ist auf der einen Seite nötig, um einen teilbaren Erfahrungshorizont zu gewähren. Auf der anderen Seite folgt sie der noch mangelhaften Literaturlage, die eine distanziertere Betrachtung als Reaktion auf die vorliegende Arbeit in Kritik und Diskussion der hier beschriebenen Phänomene, vor allem der Zukunft überlässt. Aus den angesprochenen Aspekten lassen sich folgende Erkenntnis leitende Fragestellungen extrahieren:

- Welche Klangerzeugung bieten Soundchips, welche Unterschiede gibt es zwischen den verschiedenen Soundchips ?
- Wie gestaltet sich die Programmierung von Musik für Soundchips insbesondere im Rahmen von Computerspielen ?
- Kann die Hypothese, dass Musik für Soundchips vor allem durch die Limitierungen der Technik mit einer eigenen Klanglichkeit in Verbindung gebracht wird, bestätigt werden ?

¹⁰ Diese werden im Text durch das Zeichen  mit entsprechender Datei-Nummer gekennzeichnet.

2 Technische Voraussetzungen: Soundchips

Die Vorstellung der technischen Voraussetzungen von Soundchip-Musik ist in dieser Arbeit das zentrale Element, hat sie doch zum Ziel, herauszuarbeiten, in welchem Umfang Form und Klangästhetik der Computerspielmusik mit den technischen Grundlagen ihrer Klangerzeugung zusammenhängen, also in wie weit sich ihre Verwurzelung in der jeweiligen technischen Entwicklungsumgebung auf die musikalische Gestaltung auswirkt. Da Soundchip-Musik, wie in der Einleitung erläutert, als Medienmusik und damit als von ihren technischen Voraussetzungen wie ihrer Medienrealität abhängige Musik begriffen wird, markiert die Vorstellung der technischen Voraussetzungen von Soundchip-Musik den ersten Teil.

Es lässt sich tautologisch sagen, die technischen Voraussetzungen von Soundchip-Musik seien Soundchips. Einer weiter gefassten Perspektive folgend muss als technische Voraussetzung von Soundchip-Musik jedoch die *Gesamtheit* der zur Musik nötigen Technik betrachtet werden. Diese umfasst neben den Soundchips auch Speicherplatz und -medium, sowie Beschränkungen, die aus ihrer Funktion als Computerspielmusik folgen, und die Implikationen der zur Programmierung notwendigen Software. Eine umfassende und detaillierte Vorstellung dieser Punkte ist im Hinblick auf die erwähnte Literaturlage kaum zu leisten, dennoch soll eine erste, diese Bereiche berücksichtigende Aufarbeitung des Themas angeschoben werden.

Der für diese Arbeit zentrale Begriff der Soundchips¹¹ existiert in der Literatur bisher kaum, weshalb sich an dieser Stelle eine Definition anbietet: Soundchips sind integrierte Schaltkreise (ICs, Chips), die ab Ende der 1970er Jahre zur Erzeugung von Klang und Musik speziell für Spielautomaten und später auch Spielkonsolen und Heimcomputern entwickelt werden, um die teure und aufwendige, auf diskreten, analogen Schaltkreisen basierende Klangerzeugung früher Spielautomaten ersetzen zu können. Soundchips lassen sich am offensichtlichsten nach Art der Klangerzeugung gliedern. So lässt sich differenzieren zwischen

- den auf einfachen Wellenformen basierenden Programmable Sound Generators (PSGs¹²),
- auf dem Verfahren der Frequenz Modulation basierende (FM-)Chips,
- und Soundchips, die die nötigen Berechnungen für das Verfahren des Samplings¹³ leisten.

¹¹ Begriffe wie „Audio Device“ oder gar Instrument mögen als Oberbegriff für Hardwarelösungen, die Klang und Musik in digitalen Systemen erzeugen, sinnvoll erscheinen. In dieser Arbeit soll für solche jedoch allgemein der Begriff Soundchips benutzt werden, wobei anzumerken ist, dass die Klangerzeugung von FAMILICOM / NES und PC-ENGINE nicht auf speziellen Soundchips basieren, sondern in die jeweilige CPU integriert ist.

¹² PSG steht für „Programmable Sound Generator“. Die auf einfachen Wellenformen basierenden, frühen Soundchips werden so im Englischen bezeichnet.

¹³ Die verschiedenen, teilweise auch in FM-Soundchips integrierten Verfahren des Samplings werden allgemein durch die Abkürzungen PCM (Pulse Code Modulation) und PWM (Pulse Width Modulation) bezeichnet. Pulse Code Modulation bezeichnet das unkomprimierte Wandeln analogen Klangs durch Speichern von verschiedenen Werten in einem von der Bit-Tiefe auf der y-Achse und der Abtastfrequenz auf der x-Achse definierten Koordinatensystem. Bei der Pulse Width Modulation werden die gesampelten Informationen durch Modulation der Pulsbreite einer Pulswelle gespeichert. ADPCM (Adaptive Differenz Puls Code Modulation) ist ein Verfahren, in dem anstelle der einzelnen Sampling-Werte die relationale Abweichung dieser voneinander gespeichert wird. Zu den verschiedenen Kodierungsverfahren vgl. Ackermann (1991: 83, 227). In CD-Qualität (16 Bit-Auflösung bei einer Abtastfrequenz von 44,1 kHz) gesampeltes und wiedergegebenes Material wird in der Computerspielindustrie als „Digital Audio“ bezeichnet.

Die kanadische Musikwissenschaftlerin Karen Collins (2003a: 1) schlägt für die historische Unterscheidung der verschiedenen Soundchips eine Zeiteinteilung vor, die drei Abschnitte umfasst. Ihr erster beginnt mit den 8 Bit-Plattformen, in welcher sie neben den frühen Soundchips (ab 1977) auch die fest integrierten, analogen Schaltkreise (ab den frühen 1970er Jahren) einschließt¹⁴. Ihr zweiter Abschnitt wird „the 'in-between' years“ genannt, in denen FM-Synthese, das MIDI-Datenformat sowie Sampling-Fähigkeiten implementiert werden wodurch die Gestaltungsmöglichkeiten für Komponisten steigen. Der dritte Abschnitt beginnt mit Einzug der CD-ROM-Technologie¹⁵ und zeichnet sich durch den Wegfall vorher bestehender Einschränkungen und somit eine künstlerische Freiheit in Bezug auf die Wahl des Klangmaterial aus. Durch die Einbindung von *streamed* bzw. Redbook-Audio¹⁶ wird es möglich, mit kompositorischer Freiheit, ohne wesentliche, durch die Soundhardware auferlegte Beschränkungen, musikalische Ideen umzusetzen. Die technischen Limitierungen von Soundchip-Musik in Bezug auf Klangfarbe, Klanggestaltung, Speicherplatz und andere Ressourcen werden damit hinfällig. Mit dieser Entwicklung endet auch die den technischen Voraussetzungen stark untergeordnete Soundchip-Musik, um die es in dieser Arbeit geht.

Die folgenden Kapitel widmen sich den ersten beiden genannten Abschnitten, wobei Collins' ersterer im Rahmen dieser Arbeit in frühe PSG-Soundchips (Stella / VIA, AY-3891x, SN 76489 AN und Pokey) und weiterentwickelte, den früheren im Hinblick auf die Möglichkeiten der Klangerzeugung überlegene PSG-Soundchips (MOS SID & und 2A03) unterteilt wird. Hierbei beschränkt sich die Auswahl auf die am häufigsten verwendeten und für die Geschichte der Computerspiele wichtigsten Soundchips. Nicht eingegangen wird z.B. auf die Heimcomputer COMMODORE VC 20, TANDY TRS 80 und TEXAS INSTRUMENTS TI 99/4. Auch der APPLE II und verschiedene Sampling-Chips, die sich ab Mitte der 1980er Jahren in einer Reihe von Arcade-Spielautomaten finden, werden im Rahmen dieser Arbeit ausgeklammert, da ihre Verbreitung gegenüber der hier vorgestellten vergleichsweise gering ist und sich in ihnen ähnliche Verfahren der Klangerzeugung finden lassen.

Spielkonsolen und 8 Bit Arcade-Boards¹⁷ stellen für die Wiedergabe von Grafik und Sound optimierte Computer dar und werden daher mit speziellen Bauteilen für diese Zwecke ausgestattet. Der zur Verfügung stehende Arbeitsspeicher bleibt aufgrund hoher Kosten während des gesamten Untersuchungszeitraums limitiert. Die Entwicklung von Soundchips ist daher im Hinblick auf Kosten- und Speichereffizienz geschehen, musikalische Kriterien elektronischer Klangerzeugung wie Klangqualität (bzw. Güte der resultierenden Wel-

¹⁴ Die Aufteilung in die drei Zeitabschnitte erfolgt bei Collins nach technikhistorischen Aspekten und ist aus diesem Grund auch für die vorliegende Arbeit von Interesse. Andere Geschichtsschreibungen für Computerspielmusik wie z.B. von Brandon 2003, 197ff teilen die Entwicklung nach anderen Gesichtspunkten und damit auch in andere Zeiträume ein.

¹⁵ Lediglich der japanische Hersteller Nintendo verzichtet bei dem 1996 erschienenen NINTENDO 64 auf die Implementierung eines CD-basierten Speichermediums und zieht die in Bezug auf ihre Speicherkapazität eingeschränkten Festspeicher-Modulen vor.

¹⁶ Bei Redbook Audio wird ein unkomprimierter Audio-Track von CD wiedergegeben. Beim *Streaming* wird ein digitaler Datenstrom von der CD gelesen und für das Spielprogramm bereitgestellt (*streamed* Audio). Gestreamte Musikdaten können somit auch in komprimierten Formaten vorliegen, während Redbook-Audio zwar die Spiel-Engine entlastet, dafür aber mitunter viel Platz auf der CD verbraucht. (vgl. Boer 2003: 29, 575f)

¹⁷ Als „(Arcade-)Boards“ bezeichnet man die seit der Einführung des JAMMA-Standards (1986) auswechselbaren Hauptplatinen von Arcade-Spielautomaten.

lenformen) und die Bereitstellung verschiedener Klangfarben wurden bei der Entwicklung der ersten Soundchips daher kaum berücksichtigt. Weitere Möglichkeiten der Klangmanipulation durch LFOs, Filter oder Hüllkurven sind ebenso selten implementiert und werden teilweise durch Software verwirklicht. Dies wird bei den Beschreibungen der einzelnen Chips sowie den Strategien der Gestaltung näher ausgeführt.

Die neuen Verfahren der Klangerzeugung der sog. 16 Bit-Ära¹⁸ stellen FM-Synthese und Sampling dar. Ihre Wirkung auf die Ausgestaltung von Computerspielmusik ist jedoch weitgehend gering, da mit ihnen kompositorisch fortgeführt wird, was sich in der Zeit der 8 Bit-Plattformen an gestalterischen Grundsätzen entwickelt hat. Auf dem IBM-kompatiblen PC wird von Anfang der 1980er Jahre an, bis zu dem Aufkommen der ersten Soundkarten (vgl. Kapitel 2.7) vor allem der PC-Speaker zur Klang-, weniger zur Musikwiedergabe genutzt. Die von Collins als erste Phase gekennzeichnete Periode der frühen Soundchips geht mit Ausnahme des PC_{JR} (Kapitel 2.7.3) ohne Einfluss an dieser Plattform vorüber, auch weil Computerspiele in dieser Zeit weniger am PC denn auf Heimcomputern entwickelt und gespielt werden, was nicht zuletzt an den hohen Kosten der Hardware liegt. Die FM-Synthese wird ab 1987 mit der AD LIB-Soundkarte zum Standard für Computerspielmusik auf dem PC.

In der folgenden Vorstellung der verschiedenen Soundchips liefern kleine Übersichts-Tabellen grundlegende Informationen über Speicherplatz und Ausstattung der jeweiligen Hardwareplattformen. Diese bieten eine Orientierung, in welcher Umgebung der jeweilige Soundchip integriert ist. Eine Ausnahme stellen Arcade-Automaten dar, deren technische Details u.U. von Modell zu Modell differieren und daher nicht einzeln genannt werden¹⁹. Es muß darauf hingewiesen werden, dass die technischen Daten der jeweiligen Hardware keine direkten Rückschlüsse auf ihre Leistungsfähigkeit im Vergleich zu anderen zulassen, da sich diese fernab der quantifizierbaren Ebene in vielen anderen Punkten unterscheiden.

Sie beziehen sich grundsätzlich auf die Grundausstattung der jeweiligen Plattform und basieren auf dem umfassenden Übersichtswerk „Gameplan: Heimcomputer und Spielkonsolen 1972-2005“ des deutschen Publizisten Winnie Forster (2005: 202ff).

¹⁸ Diese beginnt ab 1985 mit den 68000er Heimcomputern COMMODORE AMIGA, ATARI ST und APPLE MACINTOSH. Die 16 Bit-Ära der Spielkonsolen wird von den Plattformen SEGA MEGA DRIVE (1988), NINTENDO SUPER NES (1990) und SNK NEO GEO (1990) markiert, welche Mitte der 1990er Jahre von den 32-Bit Konsolen wie SEGA SATURN (1994) und SONY PLAYSTATION (1994) abgelöst werden (vgl. Forster 2005: 144ff).

Das MATTEL INTELLIVISION (1979) basiert bereits auf einem 16 Bit-Prozessor, ist jedoch von den Möglichkeiten der Grafik- und Soundwiedergabe am ehesten mit den anderen 8 Bit-Konsolen vergleichbar. Das NEC PC-ENGINE (1987) besitzt einen 16 Bit-Grafikchip, jedoch weiterhin eine 8 Bit-CPU.

¹⁹ In Arcade-Automaten werden bis Mitte der 1980er Jahre dieselben PSGs (Pokey, SN 76489, AY-Chips) benutzt, wie in Spielkonsolen und Heimcomputern, später dann vor allem FM-Chips der Firma YAMAHA, die in Kapitel 2.5.2 vorgestellt werden.

2.1 Die Frühzeit: Computerspiel-Sound ohne Soundchips

Die ersten Spielautomaten mit eigenen Soundeffekten enthalten keine Soundchips. Der erste erfolgreich kommerzialisierte Spielautomat, PONG (ATARI, 1972) erzeugt zwar Geräusche, diese sind jedoch analogen Ursprungs, da sie auf Spannungsspitzen der Schaltkreise basieren. Der tiefste von ihnen ist verstärkt und hörbar gemacht als „Pong-Sound“ (♩001) bekannt geworden. Al Acorn, der bei ATARI für PONG verantwortliche Ingenieur bemerkt:

„As in its predecessor, Computer Space, there were separate circuit boards for each of the game's functions – one for the paddles, one for the ball, and one for the scoring. The image seen on-screen was a reflection of the shifting ON/OFF patterns in the circuitry, drawn with a pulsing raster scan. As the patterns changed, they created a shift in voltage that, in turn, generated wave forms that – when amplified – would make the most fantastic sound. 'Pong.' It was perfect“ (zit. n. Burnham 2001: 87, Hervorh. i. O.).

Andere Spielautomaten dieser Frühzeit²⁰ waren mit eigens angefertigten, analogen Soundgeneratoren versehen. SPACE INVADERS (TAITO, 1978) besitzt neben Soundeffekten als erster Automat einen durchgängigen Soundtrack. Dieser besteht zwar nur aus einigen sich wiederholenden Bass-Noten, er markiert in seiner Abhängigkeit vom Vorankommen des Spielers jedoch eine frühe Integration von sog. adaptiver Musik²¹ in Computerspielen.

„Zu Beginn eines 'Space Invaders'-Spiels, wenn die ersten 55 [...] Bösen ihre Stellung am oberen Bildschirmrand einnehmen, gibt der Spielautomat einen sehr tiefen, sehr langsamen und noch recht leisen Bassrhythmus von sich. Tief genug, dass man den Boden ein wenig zittern spürt. Während die Außerirdischen vorrücken, wird der Bass lauter und schneller. Sind sie beim Spieler angekommen, ist der Rhythmus etwa so schnell wie sein Herzschlag“ (Lischka 2002: 48, Hervorh. i. O.).

Eine Veränderung der eingebauten Klänge ist in dieser Zeit nicht vorgesehen, eine Neu-Programmierung wäre nur durch Eingriffe in die Schaltkreise selbst möglich gewesen (vgl. Brandon 2003: 197).

²⁰ Für den Zeitraum von 1972 bis 1980 erwähnt die amerikanische Autorin Van Burnham gerade einmal rund 50 Spielautomaten als historisch relevant (vgl. Burnham 2001: 11). Insgesamt dürften es höchstens 200 gewesen sein (vgl. Forster 2002: 7), in Europa sind hiervon weitaus weniger erschienen. Für ihren Klang werden nur wenige hervorgehoben: Die Spiele RALLY (FOR-PLAY, 1973), QWAK (ATARI, 1974), SPEED RACE (TAITO, 1974), MANEATER (PSE, 1975) und GUNFIGHT (MIDWAY, 1975) werden aufgrund der „realistischen“ Soundeffekte genannt (Burnham 2001: 95-123). Musik ist zu dieser Zeit noch nicht implementiert.

²¹ Der Begriff „Adaptive Audio“ wird Brandon (2003: 197ff) zufolge benutzt, um den irreführenden Begriff von „Interactive Audio“ abzulösen. Nach Brandon ist in Computerspielen das Audio-Material bzw. die Musik nicht wirklich interaktiv, sie passt sich vielmehr den Handlungen des Spielers an, welche in Interaktion mit der digitalen Maschine über ein Interface abgefragt werden. Daher stellt „adaptiv“ einen passenderen Ausdruck für die nicht-statische klangliche Untermalung von Computer- und Videospiele dar. Die Diskussion um die verschiedenen Begriffe wird in Kapitel 3.1.2 resümiert.

Zur Zeit der erfolgreichen Einführung von ATARI Spielautomaten PONG in den Vereinigten Staaten existiert bereits die erste für den eigenen Fernseher konzipierte Heimkonsole, das MAGNAVOX ODYSSEY (1972). Dieses basiert jedoch nicht auf einem Computer, sondern auf analogen Schaltkreisen und besitzt keine Klangerzeugung. Bis 1975 bleiben die Verkäufe mit geschätzten 200.000 Exemplaren weit unter den Erwartungen (vgl. Burnham 2001: 82), Lizenznehmern des ODYSSEY in Japan und Europa ist ebenfalls kein nennenswerter Erfolg beschert. 1975 veröffentlicht ATARI mit HOME PONG eine weitaus erfolgreichere Heimversion des berühmten Tennisspiels. In den Folgejahren erscheinen eine Vielzahl der sog. „Telespiele“, die i.d.R. unterschiedliche Varianten von PONG und auch Spielkonzepte des ODYSSEY, wie Tontaubenschießen enthalten²². All diesen ist gemein: Sie enthalten neben sog. Piezo-Beepern keine Hardware zur Klangerzeugung, Musik wird auf ihnen nicht wiedergegeben.

2.2 PSG-Soundchips (1977-1982)

Die frühen PSG-Soundchips, welche die kosten- und zeitintensive Praxis von speziellen Eigenentwicklungen analoger Sound-Schaltkreise für ein bestimmtes Spiel ablösen, erscheinen mit Ausnahme des bereits 1977 veröffentlichten Stella / TIA-Chips des ATARI VCS erst 1979 (ATARI Pokey, AY-3891X) bzw. 1982 (SN 76489 AN) auf dem Markt.

Alle verwenden dasselbe Prinzip der Tonhöhenberechnung: Ein Quotient der Taktfrequenz wird durch den Wert eines bestimmten Registers geteilt, wobei als Ergebnis mehr oder weniger musikalisch verwertbare Skalen einer mit der Registergröße korrelierenden Anzahl von möglichen Tonhöhen entstehen. Die Größe des Tonhöhen-Registers bestimmt somit die Auflösung der resultierenden Skalen, wodurch beim ATARI Stella / TIA gerade einmal 32 verschiedene, sehr grob aufgelöste und häufig nicht im musikalischen Kontext verwertbare Tonhöhen erzeugt werden. Die drei weiteren frühen PSG-Soundchips, der GENERAL INSTRUMENTS AY-3891X, der TEXAS INSTRUMENTS SN 76489 AN und der ATARI Pokey, besitzen als Standardeinstellung 8 Bit, 10 Bit bzw. 12 Bit-Register zur Berechnung der Tonhöhen, was zu 256, 1023 bzw. 4095 verschiedenen Tonhöhen führt. Deren Werte verhalten sich bei dieser Art von Frequenzberechnung umgekehrt proportional zu den Werten des Frequenzregisters.

Soundchips sind somit durch die diskrete Auflösung der Tonhöhen innerhalb der jeweiligen Umgebung *nicht exakt stimmbar*. Außerdem sind die PSG-Soundchips für Spielkonsolen wie auch Heimcomputer und Arcade-Automaten wegen der unterschiedlichen Wechselstrom- und Zeilenwiederholffrequenzen in den verschiedenen Territorien (PAL: 50 Hz, NTSC: 60 Hz) anders gestimmt und getimet: Aufgrund der unterschiedlichen Taktung erklingt in NTSC-Versionen die Computerspiel-Musik je nach technischer Plattform um bis zu einen Halbtonschritt höher und entsprechend schneller als ihr PAL-Pendant²³.

²² Im Rahmen der vorliegenden Arbeit, die sich explizit mit der Entwicklung von *Soundchips* beschäftigt, ist es nicht uninteressant, zu bemerken, dass sich die große Anzahl von Pong-Klonen ab 1975 laut Wolf (2001b: 52) vor allem auf die Entwicklung des GI AY-3-8500 *Grafikchips* zurückführen lässt. Die große Abhängigkeit der Entwicklung der Computertechnik von bestimmten Bauteilen ist indes keine neue Erkenntnis.

²³ Bei heutigen, auf Emulation der jeweiligen Soundchips basierenden Playern wie SIDPLAY lässt sich teilweise die Videonorm zwischen PAL und NTSC umstellen, womit diese Eigenschaft ohne größeren Aufwand erfahrbar gemacht werden kann. (SIDPLAY: <http://www.gsldata.se/c64/spw/sidplayw.html>; 20.07.2005)

Damit sind die frühen Soundchips in gewisser Hinsicht ein Kuriosum, bieten sie als digitale Bausteine im diskreten Computer die Möglichkeit, Tonhöhen eindeutig exakt zu berechnen, dieses jedoch allein auf die technisch determinierte Art und Weise. Eine Stimmung außerhalb ihrer Skalierung ist nicht möglich ²⁴.

Neben der Klangerzeugung mittels digitaler Oszillatoren, die auf einfachen Zählern basieren, wurde in den PSGs – mit Ausnahme der Klangerzeugungen des ATARI VCS und des NES – bereits eine Technik angewendet, um kurze, 4 Bit-aufgelöste Samples wiedergeben zu können. Diese beruht auf der schnellen Modulation des Lautstärke-Registers zwischen Maximum und Minimum und wurde ab Mitte der 1980er Jahre verwendet.

Die nun folgende Vorstellung der technischen Daten der frühen Soundchips geschieht unter Berücksichtigung der folgenden Punkte:

- Art und Anzahl der Oszillatoren sowie Tonhöhenberechnung
- Steuerung des Klangverlaufs (Tondauern, Hüllkurven)
- Möglichkeiten der Klangfarbenmanipulation (Filter, PWM, Sweep, LFO etc.)

2.2.1 Der Stella / TIA – Soundchip des Atari VCS

Die Geschichte der Soundchips beginnt mit der Entwicklung des ATARI VIDEO COMPUTER SYSTEMS (ATARI VCS, später: ATARI 2600), welche als erste programmierbare, auf digitalen Bauteilen basierende Heimkonsole 1977 eingeführt wird. Für das VCS gibt es erstmals auf sog. Cartridges (Plastikkassetten mit integriertem ROM-Festspeicher-Modulen) gespeicherte Spiele (in der ersten Version mit einer maximalen Speicherkapazität von 4 kB), womit eine vorhandene Hardware für verschiedene Spiele nutzbar gemacht wird²⁵.

Atari VCS / 2600 (1977)	
CPU, Taktfrequenz	6507, 1,2 MHz
RAM	128 Bytes
Datenträger,	Modul
Kapazität	4kB – 32 kB

Der Stella-Chip ist im ATARI VCS vor allem für Grafik zuständig. Der Chip enthält zur Klangerzeugung zwei unabhängig programmierbare Audio-Schaltkreise, welche über je drei Register kontrolliert werden²⁶:

²⁴ Eine als ungerade wahrnehmbare Stimmung besitzen dadurch jedoch nur die ATARI-Chips Pokey und TIA. Da Soundchips ihrem Alltagsgebrauch als Computerspiel-Klangerzeuger entsprechend eher selten mit anderen Instrumenten zusammen erklingen, die z.B. wohltemperiert gestimmt sind, wird diese Eigenart bei den eine größere Auflösung bietenden Soundchips selten wahrgenommen: Die mathematisch-physikalischen Grundlagen der Musik (z.B. dass Intervalle als mathematische Verhältnissen berechnet werden können) bleiben erhalten.

²⁵ Bereits das erwähnte MAGNAVOX ODYSSEY benutzt verschiedene Steckkarten, diese stellen jedoch keine programmierten und gespeicherten Spiele dar, wie die auf Festspeicher basierenden VCS-Cartridges, sondern variieren lediglich die internen analogen Schaltkreise.

²⁶ Die recherchierten Daten über die Klangerzeugung des VCS entstammen keiner offiziellen Dokumentation des TIA-Chips, können jedoch als verlässlich eingestuft werden, da die verwendeten Quellen als Grundlage für die Programmierung von Emulatoren und auf die Klangerzeugung zugreifende Programme dienen.

- AUDC0 und AUDC1 sind 4-Bit-Register, die Zugriff auf 16 verschiedene Klangfarben bieten, welche Mischungsverhältnisse der Ausgänge von Pulswellengenerator und Rauschgenerator darstellen. Darüber hinaus stehen sie für eine jeweils andere Division des Frequenzwerts des entsprechenden Kanals, womit pro Klangfarbe andere Tonhöhen produziert werden²⁷. Laut Slocum (2003) sind nur 8 der 16 verschiedenen Einstellungen ihrer Klangfarbe her voneinander zu unterscheiden und damit zur musikalischen Verwendung geeignet.
- AUDF0 und AUDF1 sind 5 Bit-Register, durch deren Werte die am Chip anliegende Eingangstaktfrequenz dividiert wird, um eine von 32 möglichen Tonhöhen auszuwählen. Die resultierenden Tonhöhen differieren aufgrund ihrer Abhängigkeit von Eingangstaktfrequenz und Zeilenwiederholffrequenz je nach Klangfarbenregister-Einstellung und Territorium (PAL / NTSC) des verwendeten Systems.
- AUDV0 und AUDV1 kontrollieren die Lautstärke, abermals als 4 Bit-Register, also über 16 verschiedene Werte.

Weitere hardwareseitige Möglichkeiten zur Regelung der Klangparameter (wie Tondauern oder Klangfarbenmanipulation) existieren nicht. Das Problem der mangelhaften Stimmbarkeit sowie die Limitiertheit aller auf dem VCS zur Verfügung stehenden Noten in Abhängigkeit von den verschiedenen Parametern arbeitet Stolberg (2000) heraus²⁸.

Der Stella / TIA unter musikalischen Gesichtspunkten

Slocum (2003) hat aus den Tabellen Stolbergs zwei Sets von für musikalische Zwecke verwendbaren Setups erstellt, bei denen auffällt, dass es unmöglich ist, für den Stella Soundchip Musik zu programmieren, die den uns bekannten Stimmungssystemen entspricht. Das erste Set enthält mehr verwendbare Bassnoten und ist exemplarisch als Auszug abgebildet (siehe Abb.1). Die Namen über den Tabellen (Bass, Pitfall, Square, Lead) kennzeichnen die von Slocum betitelten Wellenformen samt AUDC-Wert. Die unterlegten Spalten NTSC und PAL kennzeichnen die Verstimmung in Cents gegenüber der angegebenen Note in der ersten Spalte. Nicht sinnvolle (wie außerhalb des menschlichen Hörbereichs oder sehr nah beieinander liegende) Werte wurden ausgelassen.

Wie schon erwähnt, kann der Stella / TIA -Chip nur zwei Stimmen zur selben Zeit wiedergeben. Zwischen den verschiedenen Klangfarben muss im Falle des intendierten Wechsels jedes Mal mittels der Register AUDC0 und AUDC1 umgeschaltet werden. Slocum (2003: o.S.) geht auf verschiedene

6 001 Bass				
7 010 Pitfall				
#	Note	NTSC	PAL	Bass Code
0	b5	+45	+32	[00100000]
1	b4	+45	+32	[00100001]
2	e4	+43	+30	[00100010]
3	h3	+45	+32	[00100011]
4	g3	+58	+45	[00100100]
5	e3	+43	+30	[00100101]
7	b2	+42	+32	[00100111]
8	a2	+42	+28	[00101000]
9	g2	+59	+45	[00101001]
11	e2	+43	+31	[00101011]
14	c2	+56	+44	[00101110]
15	b1	+46	+32	[00101111]
17	a1	+39	+27	[00110001]
19	g1	+59	+45	[00110011]
23	e1	+44	+28	[00110111]
26	d1	+41	+27	[00111010]
29	c1	+58	+42	[00111101]
31	h0	+44	+33	[00111111]

4 000 Square				
#	Note	NTSC	PAL	Driver Code
10	f6	+39	+25	[00001010]
12	d6	+49	+36	[00001100]
21	f5	+39	+26	[00010101]
22	e5	+62	+48	[00010110]
25	d5	+49	+36	[00011001]
28	c5	+60	+47	[00011100]
30	b4	+45	+32	[00011110]

12 101 Lead				
#	Note	NTSC	PAL	Driver Code
10	a#4	+39	+23	[10101010]
12	g4	+48	+34	[10101100]
21	a#3	+37	+24	[10110101]
22	a3	+60	+47	[10110110]
25	g3	+47	+34	[10111001]
28	f3	+59	+45	[10111100]
30	e3	+43	+30	[10111110]

Abbildung 1: Auszug des ersten Instrumenten-Sets von Slocum (2003), es fehlen das Saw-Instrument und der Pitfall-Binärcode.

²⁷ Eine genaue Auflistung der 16 verschiedenen Modi findet sich bei Israel (1993).

²⁸ Stolberg (2000) führt unter anderem aus, dass der 114te Anteil der Pixelclock oder der Systemclock als Basis der Frequenzdivision dienen kann. Bei NTSC-Geräten (262 Zeilen bei 60 Hz) entsprechen diese 31440 Hz und 10480 Hz, bei PAL-Geräten (312 Zeilen bei 50 Hz) 31200 Hz bzw. 10400 Hz. Die PAL-Version des VCS ist entsprechend tiefer gestimmt.

Effekte ein, mit denen trotz der limitierten Technologie musikalische Ideen umgesetzt werden können. So lassen sich quasi-Akkorde durch schnelle Arpeggien erzeugen, er nennt außerdem mögliche Percussion-Sounds sowie die Programmierung von Schlagzeug und Bass auf nur einem Kanal²⁹.

An dieser Stelle muss jedoch differenziert werden zwischen der zeitgenössischen Computerspielmusik auf dem VCS und der im Zuge des Phänomens der Chiptunes ab der zweiten Hälfte der 1990er Jahre komponierten populären Soundchip-Musik: In frühen Spielen können aufwendige Klangfarben-Schaltungen oder gar Percussion-Spuren nicht benutzt werden, auch aufgrund des limitierten Speicherplatzes³⁰ auf der Cart-ridge. Erst späte Spiele wie *ACID DROP* (SALU LTD, 1992; ♪002) nutzen verschiedene Klangfarben für die Melodie, um die in einer Klangfarbe nicht vorhandenen Noten von einer anderen spielen zu lassen.

Computerspielmusik für das VCS wurde in Assemblercode geschrieben und danach in die Spielen integriert. Collins (2004b) führt eine musikwissenschaftliche Inhalts- und Formanalyse dieser durch. Sie stellt fest, dass nur etwa jedes fünfte für das VCS erschienene Spiel überhaupt Musik enthält (Collins: 2004b: 4) und dass in denen, die sie untersucht hat, eine große Anzahl von kleinen Sekunden vorkommt. Kleine Sekunden werden seit jeher mit Affekten wie „Unheil“, „Hoffnungslosigkeit“ und „Verzweiflung“ assoziiert. Obwohl dies Intention der jeweiligen Komponisten gewesen sein kann, wird ihr gehäuftes Auftauchen von Collins in letzter Konsequenz auf die technisch bedingt stark limitierten Skalen zurückgeführt (ebd.: 9).

2.2.2 Atari Pokey

Der ATARI CO 12294 Pokey (**P**otentiometer and **K**eyboard Integrated Circuit) ist einer von drei speziell für die 1979 erscheinende ATARI Heimcomputer-Serie 400/800 von einem Team unter Leitung von Jay Miner bei ATARI entwickelten „Custom Chips“. Der Pokey ist neben der Abfrage des Keyboards, der Verwaltung von seriellen Daten und Potentiometer-Eingängen auch für die Klangerzeugung zuständig (vgl. Forster 2005: 34ff). Er

	Atari 400 / 800 (1979)	Atari 5200 (1982)
CPU; Taktfrequenz	6502A; 1,79 MHz	6502; 1,79 MHz
RAM	8 bis 48 kB	2 kB
ROM	10 kB	n.b.
Datenträger	Modul, Diskette, Kasette	Modul
Kapazität	2 kB - ~100 kB	bis 32 kB

stellt den historisch ersten, unter kompositorischen Gesichtspunkten ernst zu nehmenden Soundchip dar, verfügt er doch über eine vierstimmige Klangerzeugung (Rechteckwellen und Rauschen), die seinen flexiblen Einsatz als Klangerzeuger erlaubt. Der Soundchip wird in ATARI-Spielautomaten wie z.B. *BATTLEZONE*, *CENTPEDE* oder *TEMPEST* (ATARI, 1980, 1980, 1981) sowie der Nachfolgekonsolle des VCS, dem ATARI 5200 (ab 1982) eingesetzt, in welchen er vor allem für Soundeffekte zuständig ist. Die Klangerzeugung klingt besonders in den Basslagen wenig überzeugend, wie Warhol im Interview bemerkt (Warhol 2005) und ein Hörtest verschiedener Spiele im Emulator bestätigt. Die nachfolgenden Details entstammen dem Pokey Data Manual, in dem der Chip von ATARI dokumentiert wurde, wenn auch in kryptischer Form. Laut Levy (1994: 316ff) ist

²⁹ Diese Strategien gestalterischer Praxis werden generell für Soundchip-Musik benutzt, um trotz der begrenzten Polyphonie musikalische Ideen umzusetzen (vgl. Kapitel 3.2.1).

³⁰ In die anfangs zur Verfügung stehenden 4kB musste ein gesamtes Spiel passen, was das VCS zu einer großen Herausforderung für Assembler-Programmierung machte. Tod Frye benutzte in der Automatenumsetzung von *ASTEROIDS* (ATARI, 1981) erstmals die von Larry Wagner erfundene Technik des „bank switching“, die es ermöglicht, erst 8kB große, später auch noch größere Spiele zu entwickeln (vgl. Herman 2001: 151).

der ATARI 800 gegenüber anderen Heimcomputern der selben Zeit äußerst mangelhaft dokumentiert, vermutlich auch weil ATARI als Hardware- und Software-Hersteller viele der möglichen Features (z.B. mehr als die acht unter BASIC darstellbaren Farben) aus dem Gedanken heraus, die eigens entwickelte Software solle konkurrenzlos bleiben, nicht dokumentierte³¹.

Der Pokey verfügt über vier Rechteckwellen generierende Tonkanäle, deren Tonhöhen via der Werte aus den 8 Bit-Registern AUDF1-4 errechnet werden³². Mit Hilfe des „Audio Control“-Register AUDCTL lassen sich globale Einstellungen für den Klangeinsatz steuern. Das Register bietet die Wahl der Periode des Rauschgenerators und alternative Einstellungen der Eingangstaktfrequenz³³. Des weiteren lassen sich die Kanäle 2 und 4 mit den Kanälen 1 und 3 koppeln, wodurch die verbundenen AUDF Register wie ein 16 Bit-Register behandelt werden. Für den nun mehr zusammengefassten Tonkanal wird eine höhere Auflösung der verfügbaren Töne möglich, was z.B. für Glissandi eine reizvolle Option ist.

Der Pokey besitzt also verschiedene Modi der Polyphonie und Auflösung, unter denen je nach Einsatz gewählt werden kann: Es stehen entweder vier 8 Bit-, zwei 16 Bit- oder ein 16 Bit- und zwei 8 Bit-aufgelöste Kanäle zur Verfügung. Als Eingangstaktfrequenz kann zwischen 15 kHz, 64 kHz und 1,79 MHz gewählt werden³⁴. Zur weiteren Klangmanipulation besteht die Möglichkeit, die Klangkanäle 1 und 2 mit einem High-pass-Filter zu versehen, wobei hierfür die Frequenzen von Kanal 3 und 4 als Filtereckfrequenzen 'geborgt' werden.

Die „Audio Channel Control“-Register AUDC1-4 steuern sowohl Lautstärke des Kanals als auch Art und Intensität des Rauschens. Die Lautstärke kann in 16 Schritten geregelt werden, darüber hinaus stehen acht verschiedene Mischungs- und Stimmungsverhältnisse von Rauschen und Tonkanal zur Verfügung, womit eine bedingte Auswahl der Klangfarbe möglich ist. Weitere Editiermöglichkeiten der Klangparameter durch LFOs oder Hüllkurven sind hardwareseitig nicht vorgesehen.

Die grobe Auflösung des Chips in nur 256 diskrete Tonhöhen führt zu einer für geübte Ohren wahrnehmbaren, 'schiefen' Stimmung, die aufgrund der wählbaren Eingangstaktfrequenzen zwar abgemildert wird, jedoch selbst im 16 Bit-Modus erhalten bleibt, da die potenzierte Auflösung allein zu einer Mehrzahl verwendbarer Noten *unterhalb* des 8 Bit-Tonumfangs führt. So steht nur bei der 1,79 MHz-Eingangstaktfrequenz ein deutliches Plus an musikalisch verwertbaren Noten mit einer Grundfrequenz von unter ~3500 Hz zur Verfügung.

³¹ Levy beschreibt den Prozess des „Reverse Engineering“, welches es dem jungen Programmierer John Harris erlaubte, viele der undokumentierten Funktionen des ATARI 800 in seinen Spielen zu nutzen (vgl. Levy 1994: 317f).

³² Die Formel $F_{out}=(F_{in})/(2*N)$ erlaubt die Errechnung der klingenden Frequenz aus der Eingangstaktfrequenz und dem 8 Bit Wert aus AUDFx, wobei N dem in das jeweilige AUDF Register geschriebenen Wert zwischen 0 und 255 addiert mit 1 entspricht und damit zwischen 1 und 256 liegen kann.

³³ Der Standardwert für die Eingangstaktfrequenz beträgt 64 kHz, geringe Abweichungen gegenüber diesem Idealwert nennt das „Pokey Data Manual“ für NTSC-Geräte. Die Abweichung liegt mit unter 0,1% jedoch im tolerierbaren Bereich. Über die Register-Bits D5 und D6 wird die Frequenz der Tonkanäle 1 und 3 mit 1,79 MHz statt 64 kHz errechnet. Sofern das Bit D0 gesetzt ist, wird die Frequenz von 64 kHz durch 15kHz ausgetauscht, was jeweils zu anderen Skalen führt.

³⁴ Der Pokey erzeugt je nach Taktfrequenz (F_{in}) im 8 Bit-Modus 256 Frequenzen zwischen 29 Hz und 7500 Hz ($F_{in}=15$ kHz), 125 Hz und 16 kHz ($F_{in} = 64$ kHz) bzw. 3495 Hz und 89,5 kHz ($F_{in} = 1,79$ MHz). Im 16 Bit Modus sorgt die o.g. Umrechnungsformel für eine deutlich höhere Anzahl von Tönen *unterhalb* der tiefsten Frequenzen des zur jeweiligen Eingangstaktfrequenz gehörenden Tonumfangs.

Sowohl die unsaubere Stimmung, als auch das bereits erwähnte 4 Bit-Sampling durch Modulation des Lautstärke-Registers sind in der Titelmelodie von GHOSTBUSTERS (ACTIVISION, 1984; ♪053b) für ATARI 400 / 800 zu hören.

In Spielautomaten werden mehrere Pokeys parallel eingesetzt, um Soundeffekte wie Musik gleichzeitig und in Stereo wiedergeben zu können. Ein bekanntes Beispiel ist der auf Vektorgrafik basierende STAR WARS- Automat (ATARI, 1983) mit insgesamt vier Pokeys (♪003), welche neben der Musik auch die Soundeffekte generieren und von dem Sprachsynthesechip TI 5220 unterstützt werden (♪004) (vgl. Brandon & Fuller 1999). Der Pokey wird nach 1987³⁵ nicht mehr eingesetzt, ATARI-Spielautomaten ab MARBLE MADNESS (ATARI, 1984) mit FM-Chips der Firma YAMAHA versehen. Der mit dem Soundchip YM 2149 (vgl. nächstes Kapitel) ausgestattete ATARI ST löst ab 1985 die ATARI 8 Bit-Heimcomputer ab.

³⁵ In diesem Jahr erscheint die letzte Modellrevision der ATARI 800-Nachfolger, der ATARI XE GS (vgl. Forster 2005: 38)

2.2.3 General Instruments AY-3-891x / Yamaha YM 2149 SSG

Das MATTEL INTELLIVISION erscheint 1979 als direkter Konkurrent zum ATARI VCS. Neben besserer Grafikfähigkeiten ist das INTELLIVISION dem ATARI auch in Fragen der Klangerzeugung weit überlegen. In ihm kommt erstmals der GENERAL INSTRUMENTS AY-3-8914 Soundchip zum Einsatz. Dieser und die von

	Mattel Intellivision (1979)	GCE Vectrex (1982)	MSX (1982)	Amstrad CPC 464 (1984)	Atari ST (1985)
CPU; Taktfrequenz	GI CP 1610; 0,9MHz	MC 68A09; 1,6 MHz	Z80A; 3,58 MHz	Z80A; 4MHz	MC 68000; 7,9 MHz
RAM	2 bis 3 kB + 512 Byte VRAM	512 Byte	8 bis 64kB + 16 kB VRAM	64 kB	256 kB bis 1 MB
ROM	7 kB	-	32 kB	32 kB	192 bis 256 kB
Datenträger	Modul	Modul	Modul, Diskette, Kassette,	Kassette, Diskette	Diskette
Kapazität	bis 16 kB	bis 8 kB	bis 720 kB	360 kB	720 kB

der Klangerzeugung identischen Modelle AY-3-8910, AY-3-8912 und YM 2149 SSG³⁶, werden auch in einer Vielzahl von anderen Heimcomputern, Spielkonsolen und Spielautomaten verbaut³⁷.

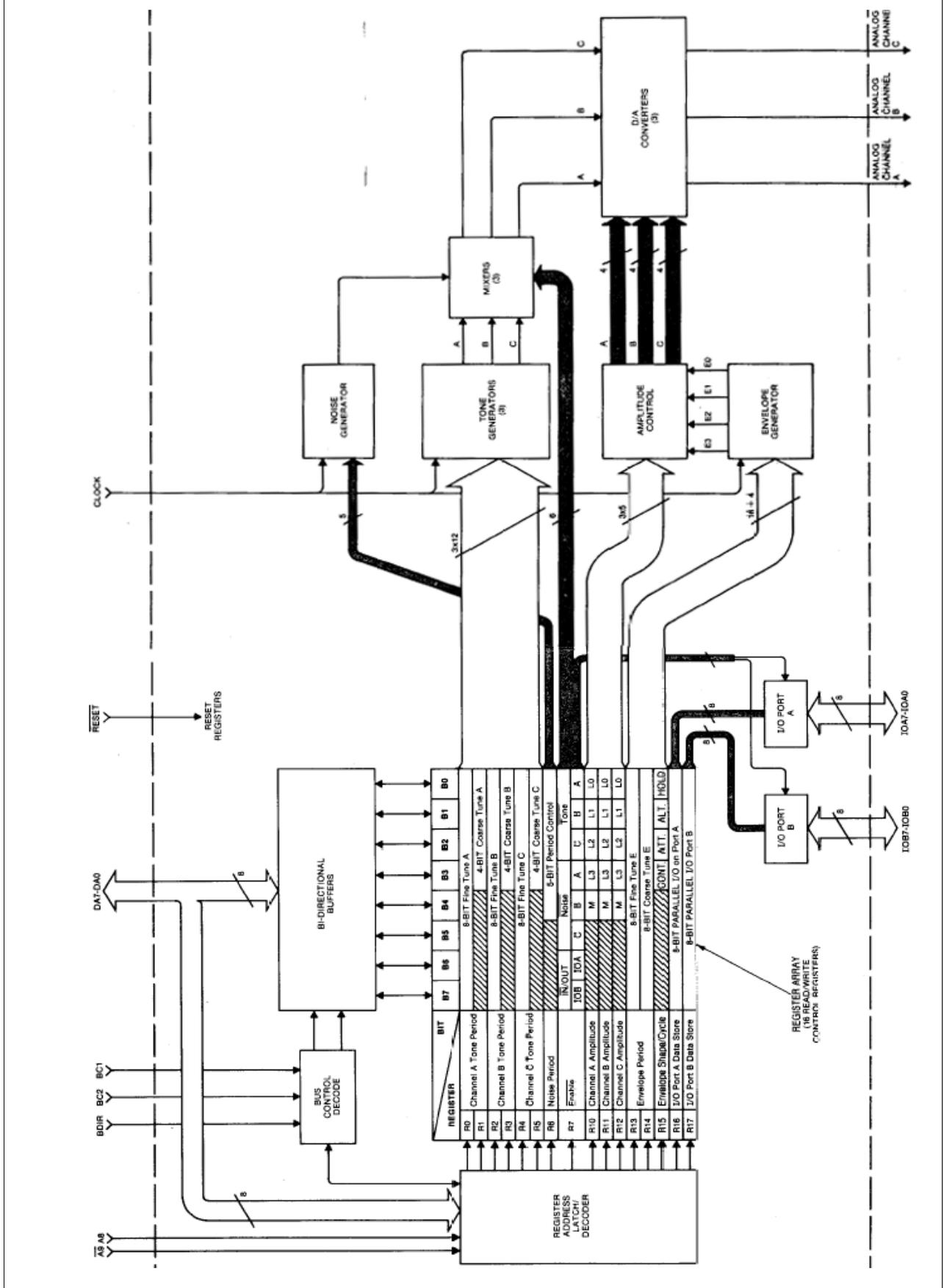
Anhand des Data Manuals³⁸ werden im Folgenden die hardwareseitigen Möglichkeiten der Klangerzeugung vorgestellt. Der AY-Chip verfügt über drei Tongeneratoren, die Rechteckwellen produzieren. Frequenz, Lautstärke und Hüllkurve sind pro Kanal regelbar, der Rauschgenerator erzeugt eine frequenzmodulierte Rechteckwelle, deren Pulsweite über einen Zufallsgenerator moduliert wird. Die Ausgänge der drei Tongeneratoren und des Rauschgenerators werden über den mittels einer Logikmatrix (Register 7) gesteuerten Mixer miteinander gemischt. Jedem Kanal kann hier der Ausgang des Rauschgenerators hinzu gemischt werden. Das Blockdiagramm (Abb. 2) bietet einen Überblick über Funktionsweise und Steuerung der Bauteile.

³⁶ Die verschiedenen AY-Baureihen unterscheiden sich v.a. durch Art und Anzahl der verfügbaren In/Out-Ports. Im Folgenden wird der Ausdruck „AY-Chips“ der besseren Lesbarkeit zugute synonym für die von der Klangerzeugung identischen Chips verwendet werden. Der YM 2149 SSG ist ein mit den AY-Chips baugleiches Modell der Firma YAMAHA..

³⁷ AY-Chips wurden außer im MATTEL INTELLIVISION auch in vielen Arcade-Automaten, in Heimcomputern wie dem ZX SPECTRUM 128, dem AMSTRAD bzw. SCHNEIDER CPC sowie in Spielkonsolen wie dem MB VECTREX eingesetzt. Außerdem ist der AY-38910 Teil der MSX-Spezifikationen (vgl. Fußnote 37). Viele japanische Personal Computer der 1980er Jahre wie der SHARP X1 (1982) besitzen ebenfalls einen AY-Chip.

³⁸ Die folgenden Informationen und Abbildungen entstammen dem „AY-3-8910/8912/8913 Programmable Sound Generator Datasheet“; URL: http://bulba.at.kz/AY-3-8910_2.rar (27.10.2004).

Abbildung 2 Blockdiagramm des AY-3-8910



Programmierung des AY-Chips

Zur Steuerung der Klangerzeugung des AY-Chips werden die Register R0-R15 beschrieben. Auf den verschiedenen Plattformen, in denen dieser verbaut worden ist, findet seine Programmierung in verschiedenen Programmiersprachen statt. Für Computerspiele erfolgt die Programmierung aus Gründen des Timings maschinennah, also meist in Assembler. Mit dem Einsatz des Chips in Heimcomputern (wie in Modellen, die dem MSX-Standard³⁹ folgen) wird die Programmierung

auch von benutzerfreundlichen Sprachen wie BASIC unterstützt⁴⁰. Im Folgenden wird allein die plattformunabhängige, hardwareseitige Funktionsweise des Soundchips vorgestellt, wie sie auf Basis des Register-Arrays (Abb. 3) geschieht.

Die Register 0-5 des AY-Chips dienen zur Errechnung der Tonhöhen: Jeweils 12 Bit Informationen bilden die Tonhöhe der drei Tongeneratoren ab, wobei hierfür wie auch bei den anderen auf Frequenzdivision basierenden Soundchips eine Teilmenge aus Eingangstaktfrequenz und Tonhöhen-Wert gebildet wird⁴¹. Die resultierenden und damit für Soundeffekte und Musik zur Verfügung stehenden 4095 Tonhöhen⁴² stehen immer in Relation zur Eingangstaktfrequenz, die je nach Umgebung des Chips innerhalb der digitalen Maschine variieren kann. Das Data Manual des YM 2149 spricht von einem möglichen Wertebereich der Eingangstaktfrequenz von 1-4 MHz.

REGISTER		BIT								
		B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	B0	
R0	Channel A Tone Period	8-BIT Fine Tune A								
R1		/				4-BIT Coarse Tune A				
R2	Channel B Tone Period	8-BIT Fine Tune B								
R3		/				4-BIT Coarse Tune B				
R4	Channel C Tone Period	8-BIT Fine Tune C								
R5		/				4-BIT Coarse Tune C				
R6	Noise Period	/				5-BIT Period Control				
R7	Enable	IN/OUT		Noise			Tone			
		IOB	IOA	C	B	A	C	B	A	
R10	Channel A Amplitude	/				M	L3	L2	L1	L0
R11	Channel B Amplitude	/				M	L3	L2	L1	L0
R12	Channel C Amplitude	/				M	L3	L2	L1	L0
R13	Envelope Period	8-BIT Fine Tune E								
R14		8-BIT Coarse Tune E								
R15	Envelope Shape/Cycle	/				CONT	ATT	ALT	HOLD	
R16	I/O Port A Data Store	8-BIT PARALLEL I/O on Port A								
R17	I/O Port B Data Store	8-BIT PARALLEL I/O Port B								

Abbildung 3 Das Register-Array des AY-38910.

³⁹ Der MSX-Standard (Microsoft Extended Basic) wird von dem japanischen Unternehmer Kai Nishi in Zusammenarbeit mit den bedeutendsten Elektronikfirmen Japans sowie MICROSOFT 1983 festgelegt und kennzeichnet einen Heimcomputer-Standard, der die Interoperabilität zwischen Heimcomputern verschiedener Hersteller garantiert. Die Basis-Spezifikationen umfassen u.a. den Prozessor Z80, wenigstens 8kb RAM sowie den AY-38910. Für den MSX-Standard erscheinen ca. 1400 Spiele, v.a. in Japan ist der Standard populär. Diverse Erweiterungen (MSX 2, MSX 2+, MSX 2 Turbo R) werden bis Anfang der 1990er Jahre entwickelt (vgl. Forster 2005: 74ff).

⁴⁰ Enders stellt die Programmierung des YM 2149 am ATARI ST in den Sprachen GfA-Basic und Megamax-C vor (Enders 1988: 37ff), Höh / Pütz erläutern die Programmierung in MSX-Basic (Höh / Pütz 1986: 229ff).

⁴¹ $f_T = f_{\text{CLOCK}} / 16 * TP_{10}$. Hierbei entspricht f_T der gewünschten Tonfrequenz, f_{CLOCK} der Eingangstaktfrequenz und TP_{10} dem 12 Bit-Wert aus den Registern R0-R5. Die Frequenz des Rauschgenerators (f_N) wird auf die gleiche Art aus dem 5 Bit Wert in Register 6 (NP_{10}) errechnet. Die Gleichung für die Berechnung dieser lautet $f_N = f_{\text{CLOCK}} / 16 * NP_{10}$. Die Frequenzbreite des Rauschgenerators liegt bei einer Eingangstaktfrequenz von 2 MHz zwischen 4kHz und 125 kHz in 31 Schritten.

⁴² $10^{12} = 4096$ Werte, wobei der valide Wertebereich zwischen 00000000001 (Division durch 1) und 11111111111 (Division durch 4095) liegt.

Dem Data Manual des AY-38910 zufolge entspricht 2 MHz dem Standardwert des Chips, für diese ergibt sich ein möglicher Frequenzbereich von 30,5 Hz bis 125 kHz⁴³.

Der Umstand der diskreten Rasterung einer begrenzten Anzahl von möglichen Tonhöhen durch das Frequenzdivisionsverfahren führt bei den AY-Chips zu Abweichungen von der wohltemperierten Skala, wie auszugsweise in

Abb. 4 zu sehen. Dennoch zeigt sich das Problem weniger auffällig als bei der extrem limitierten Tonhöhen-Auswahl des ATARI Stella / TIA oder dem 8 Bit-Modus des Pokey. Diese Verstimmungen sind für die Anwendungen des AY-Chips nicht als auffällig zu bewerten.

NOTE	OCTAVE	IDEAL FREQUENCY	ACTUAL FREQUENCY
C	1	32.703	32.698
C#	1	34.648	34.653
D	1	36.708	36.712
D#	1	38.891	38.895
E	1	41.203	41.201
F	1	43.654	43.662
F#	1	46.249	46.243
G	1	48.999	48.997
G#	1	51.913	51.908
A	1	55.000	54.995
A#	1	58.270	58.261
B	1	61.735	61.733
C	2	65.406	65.416
C#	2	69.296	69.307
D	2	73.416	73.399
D#	2	77.782	77.789
E	2	82.406	82.432
F	2	87.308	87.323
F#	2	92.498	92.523
G	2	97.998	98.037
G#	2	103.826	103.663
A	2	110.000	109.991
A#	2	116.540	116.522
B	2	123.470	123.467
C	3	130.812	130.831
C#	3	138.592	138.613
D	3	146.832	146.799
D#	3	155.564	155.578
E	3	164.812	164.743
F	3	174.616	174.510
F#	3	184.996	184.894
G	3	195.996	195.903
G#	3	207.652	207.534
A	3	220.000	220.198
A#	3	233.060	233.043
B	3	246.940	246.833

Abbildung 4 Differenz zwischen wohltemperierter Stimmung und Stimmung des AY-Soundchips bei einer Taktfrequenz von 2 MHz (Auszug)

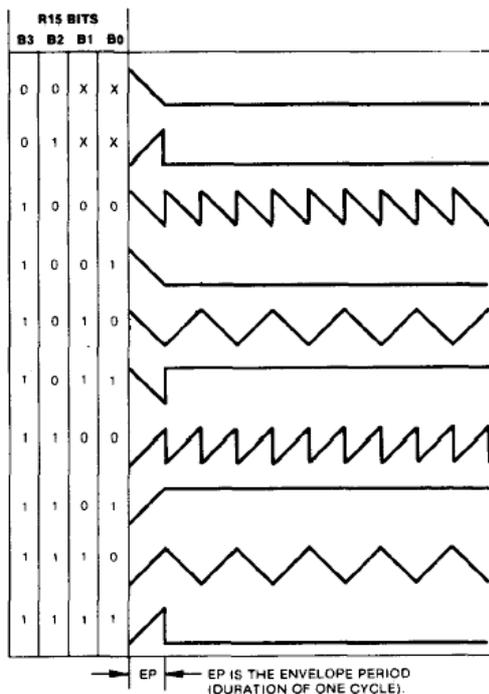


Abbildung 5 Die verschiedenen Hüllkurven-Typen des AY-Chips in Abhängigkeit zu den in R15 aktivierten Bits

des AY-Chips werden in den Registern R10-R12 vorgenommen. us der Lautstärken-Regelung:

ge, dass der 4 Bit-Wert von B0-B3 als fixes Lautstärken-Niveau 1 wird. Ist es gesetzt, wird der jeweilige Kanal mit variabler Laut d R14 bestimmen die Frequenz der Hüllkurve⁴⁴. Die Form der zehn (bzw. acht verschiedenen) Verlaufscharakteristiken an, wel- en (s. Abb. 5).

Hüllkurven-Frequenz im hörbaren Bereich (>20 Hz) dazu benutzt en statt für Tremolo-Effekte auch zur Amplituden-Modulation und e weitere Regelung der Lautstärke dieser Effekt-Klänge muss dann ende Schalter-Bit die Lautstärken-Steuerung an den nun zweckent- r für alle drei Kanäle nur einmal vorhandene Hüllkurven-Genera- on Musik für den AY-Chip häufig durch Subroutinen wie Soft-

⁴³ Je geringer der Wert TP₁₀, desto höher ist die erzeugte Tonhöhe. Die Abstände zwischen den einzelnen Tonhöhen nehmen in den höheren Lagen exponentiell zu. So liefern die 10 Werte von 4085 bis 4096 die sehr tiefen, kaum unterscheidbaren Töne von 30,518 bis 30,600 Hz. Die 10 Werte von 1 bis 11 generieren vom Maximum 125 kHz bis 11363,636 Hz sehr weit voneinander entfernt liegende Töne, die jedoch kaum zum Einsatz kommen dürften, da sie am am Rande bzw. außerhalb des menschlichen Hörspektrums liegen.

⁴⁴ Die Hüllkurvenfrequenz (f_E) wird mit der Formel f_E = f_{CLOCK} / 256 * EP₁₀ ausgerechnet. EP₁₀ entspricht hierbei dem in R13 und R14 bestimmten 16 Bit-Wert. Eine Eingangstaktfrequenz von 2 MHz kann somit 65534 Periodendauern von 0,12 Hz bis 7812,5 Hz produzieren, die längste Dauer eines Zyklus entspricht also gut 8 Sekunden.

Für musikalische Zwecke ließ sich der Hüllkurvengenerator nicht verwenden, wie der Anfang der 1980er Jahre bei MATTEL ELECTRONICS beschäftigte Programmierer David Warhol im Interview bemerkt:

„It[der AY-Chip, N.D.] was good for sound effects but not so good for musical instruments. And it only had one envelope that could be applied to any of the three pitched channels, you would have to pick which one you wanted [...]. So for music with different notes going on around at different times you couldn't really use that“ (Warhol 2005).

Weitere Möglichkeiten der Manipulation von Klangparametern finden sich ebenso wie bei den anderen frühen Soundchips auch beim AY-Chip nicht. Aufgrund der gegenüber den direkten Konkurrenten flexiblen Möglichkeiten der Klanggestaltung sowie dem vor allem in den tieferen Lagen als angenehm empfundenen Klang werden AY-Chips jedoch über einen langen Zeitraum hinweg benutzt. Neben dem YM 2149 als AY-kompatibles Modell entwirft Yamaha mit dem YM 2203 und YM 2610 zwei FM-Soundchips, die die komplette Klangerzeugung des AY-Chips enthalten und in einigen japanischen Personal Computern ab Anfang der 80er Jahre (v.a. YM 2203) sowie vielen Arcade-Automaten verbaut werden⁴⁵. In Spielen früherer Plattformen wie dem INTELLIVISION, wurde der Soundchip nur selten für durchlaufende Hintergrundmusik verwendet. Ein Beispiel für frühe INTELLIVISION-Musik ist in SHARK! SHARK! zu finden (MATTEL ELECTRONICS, 1982; 🎵005).

Da der Soundchip auch im Heimcomputer ATARI ST Verwendung findet, wird bis Anfang der 1990er Jahre viel Musik für den AY-Chip programmiert, durch die vorhandene Rechenleistung der CPU und entsprechenden Routinen des deutschen Programmierers und Musikers Jochen Hippel wird sogar die Möglichkeit, vierstimmig Samples wiedergeben zu können, mit dem Chip realisiert, wie Chris Hülsbeck im Interview erwähnt:

„Man konnte mit dem Prozessor per Software noch Samples mischen, das hat damals Jochen Hippel [herausbekommen], der sehr aktiv war auf dem Atari ST. Er hat einen 4-Stimmen Mischer geschrieben [...], um Amiga Sound aus dem Atari ST herauszukriegen“ (Hülsbeck 2005a).

Diese Technik der Sample-Wiedergabe geschieht wie bei anderen frühen Soundchips über die ausreichend schnelle Modulation des Lautstärke-Registers.

Um Beschränkungen zu umgehen und mehrstimmige Musik und Soundeffekte gleichzeitig wiedergeben zu können, werden viele Arcade-Spielautomaten wie ELEVATOR ACTION, 1942, GYRUSS (🎵006) und BOMB JACK (🎵007)⁴⁶ mit mehreren AY-Chips bestückt. Der AY-Chip kann aufgrund des typischen Klangs und seiner großen Verbreitung als Standard-PSG des ersten Abschnitts von Soundchip-Musik bezeichnet werden.

2.2.4 Texas Instruments SN 76489 AN

⁴⁵ Der YM-2203 befindet sich u.a. in Modellen der NEC Heimcomputer-Reihe, wie dem PC-6000, PC-8001, PC-8801, PC-9801 und dem Fujitsu FM77 (vgl. <http://gyusyabu.ddo.jp/MP3/MP3.html>; 15.06.2005). Der YM 2610 findet sich auf vielen TAITO Arcade-Boards ab Mitte der 1980er Jahre sowie im SNK NEO GEO.

⁴⁶ TAITO, 1983; 4x AY-3-8910; CAPCOM, 1984; 2x AY-3-8910; KONAMI, 1983; 5x AY-3-8910; TEHKAN, 1984; 3x AY-3-8910.

Das CBS COLECOVISION kommt 1982 als dritte Spielkonsole der ersten Generation neben dem ATARI VCS und dem MATTEL INTELLIVISION auf den Markt. Es ist dem ATARI wie auch dem INTELLIVISION in grafischer Hinsicht überlegen und enthält ebenso wie das INTELLIVISION einen neuartigen Soundchip, den TEXAS INSTRUMENTS SN 76489 AN, welcher später zudem als SN 76494 bzw. 76496⁴⁷ in vielen Spielautomaten,

	CBS Colcovision (1982)	Sega Master System (1987)
CPU; Taktfrequenz	Z80A; 3,58 MHz	Z80A; 3,58 MHz
RAM	1 kB + 16 kB VRAM	8 kB + 16 kB VRAM
Datenträger	Modul	Modul, MyCard
Kapazität	bis 8 kB	bis 512 kB

im SEGA MASTER SYSTEM, dem SEGA MEGA DRIVE / GENESIS und dem PCJR / TANDY 1000 eingesetzt wird. Der Soundchip ist mit dem AY-Chip vergleichbar, jedoch weniger umfangreich ausgestattet und bietet ein weniger überzeugendes Klangbild⁴⁸. Auch er besitzt drei Rechteckwellen erzeugende Tongeneratoren sowie einen Rauschkanal. Die Art des Rauschen kann zwischen „White Noise“ und „Periodic Noise“ gewählt und vier verschiedenen Frequenzeinstellungen zugewiesen werden⁴⁹. Der Rauschkanal ist anders als bei AY- und Pokey-Chip ein eigenständiger Kanal, die Mischung von Rauschanteil und Pulswelle in einer Stimme ist nicht möglich. Bei der Frequenzdivision im SN 76489 wird die CPU-Taktfrequenz durch den 32-fachen Wert eines 10 Bit-Registers geteilt, was zu 1023 möglichen Tonhöhen führt.

Der Soundchip bietet keine Möglichkeit, hardwareseitig Hüllkurven auf die Kanäle zu legen. Die Verstärkung wird durch eine 4 Bit Matrix gesteuert, wodurch 15 in 2dB-Schritten unterteilte Werte zwischen 0 dB und 28 dB möglich sind, wie im SN 76489 AN Data Manual⁵⁰ beschrieben wird. Anders als beim AY-Chip, bei dem die drei Ausgänge einzeln an Pins des Chips anliegen, enthält der SN 76489 einen internen Mischer, welcher die Signale mischt und als Mono-Kanal ausgibt.

Der SN-Soundchip bietet die bereits in Spielen benutzte Möglichkeit, PCM- oder PWM-kodierte Samples abzuspielen. Hierfür wird der für die Frequenzdivision verantwortliche Wert aller drei Soundkanäle auf 0 gesetzt (woraufhin die Kanäle eine kontinuierliche Spannung abgeben), um danach über schnelles, periodisches An- und Ausschalten der Lautstärke zwischen 0xf (maximale Lautstärke) und 0x0 (Lautstärke aus) den gewünschten Klang auszugeben (vgl. Maxim 2003). Dieses Feature wird von einigen Spielen für das MASTER SYSTEM genutzt, um digitalisierte Klänge wiederzugeben, wie SHOOTING GALLERY (SEGA, 1987) oder ALEX KIDD: THE LOST STARS (SEGA, 1989). Musikalische Anwendungen dieser Technik sind nicht dokumentiert. Laut Maxim (ebd.) ist die Lautstärke und Klangqualität von PWM-kodierten Samples größer, da für das PCM-Verfahren der Ausgangssound selbst als 4 Bit-Sample vorliegen muss, was von vornherein keine zufriedenstellende Qualität verspricht. Der SN-Soundchip ist in Bezug auf die Möglichkeiten der Klangerzeugung z.B. gegen-

⁴⁷ Das Data Manual des SN 76489 AN erwähnt den SN 76494 N als baugleichen Chip. Der SN 76496 ist von der Klangerzeugung ebenfalls identisch (Maxim 2003), wurde aber erst später verbaut, z.B. im SEGA MEGA DRIVE sowie in vielen Arcade-Automaten. Die folgenden Details gelten auch für diese baugleichen Chips.

⁴⁸ Einen Eindruck der frühen, auf dem Colecovision programmierten Musik ermöglicht die Titelmelodie des Spiels M.A.S.H (FOX VIDEO GAMES, 1982; ♪008)

⁴⁹ Mögliche Einstellungen für die Rauschfrequenz sind laut Data Manual : N/512, N/1024 oder N/2048(N=Eingangstaktfrequenz). Optional kann dem Rauschen auch die Frequenz des dritten Tongenerators zugewiesen werden.

⁵⁰ „The Engineering Staff of TEXAS INSTRUMENTS: SN 76489 AN“ URL: <http://www.funet.fi/pub/msx/mirrors/msx2.com/vortexion/sn76489.zip> (14.03.2005)

über dem AY-Chip stark beschnitten. Auch für die populäre Soundchip-Musik spielt er keine große Rolle. Auf die von den anderen Soundchips abweichende Programmierung (vgl. Talbot-Watkins 1998) soll daher an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden.

2.3 Weiterentwickelte PSG-Soundchips

In den folgenden Jahren werden die erwähnten PSG-Soundchips weiterhin in verschiedenen 8 Bit-Heimcomputern verwendet. Daneben sollten rückwirkend zwei neu entwickelte Plattformen für die Entwicklung und die Geschichte von Computerspielmusik von großer Bedeutung sein: Der COMMODORE C64 und das NINTENDO FAMICOM / NES.

Der C64 wurde vor allem durch die Implementierung eines speziell entwickelten Synthesizer-Soundchips zu einem reizvollen Musikcomputer der 1980er Jahre. Das NES besitzt durch seine große Verbreitung und der teilweise sehr hohen Qualität der meist in Japan entwickelten Spiele, bei denen auch der Musik besondere Beachtung geschenkt wurde, eine besondere Stellung in der Geschichte der Computerspielmusik. Die Klang-erzeuger beider (MOS SID und 2A03) sollen daher detailliert vorgestellt werden.

In Spielautomaten werden ab 1984 in erster Linie auf FM-Synthese basierende Soundchips verwendet. Auch in den ab 1985 erscheinenden Nachfolgern der MSX-Heimcomputer finden sich in erster Linie FM-Soundchips⁵¹. Die Klangsynthese auf Basis von Frequenzmodulation erhält darüber hinaus in begrenztem Umfang bereits in späten FAMICOM / NES-Modulen Einzug. Auf dieser Plattform ist es möglich, die Klang-erzeugung der Konsole durch speziell entwickelte Chips auf den Spielmodulen zu erweitern.

⁵¹ Namentlich die Chips YM 2203, YM 2413 (FM-Pac, MSX 2+, MSX-Music), YM 2151 (Yamaha SFG-01 FM Sound Synthesizer Unit), Y 8950 (Philips MSX-Audio, MSX 2 optional) und YM 2164 (Yamaha SFG-05 FM Sound Synthesizer Unit II) (vgl. Otten 2004, Forster 2005: 77ff). Vgl. Kapitel 2.5.2

2.3.1 der SID-Chip des C64 (MOS 6581/ 8580 SID)

Der SID-Chip des bereits 1982 in Amerika vorgestellten COMMODORE C64 gilt als der bekannteste Soundchip überhaupt. Die Klangfarbe des Sound Interface Device - Chips ist durch seine auf 4 Bit-Wellenformgeneratoren beruhende Klangerzeugung äußerst eigenständig und durchsetzungsfähig und hat unter anderem zu einer Reihe von Software auf Basis des emulierten Chips geführt. Der SID nimmt aufgrund seiner Klangeigenschaften und der großen Verbreitung eine zentrale Rolle unter den in dieser Arbeit vorgestellten Soundchips ein, weswegen eine detaillierte Betrachtung seiner Funktionsweise anhand des Datenblatts erfolgt. Der Entwickler des SID-Chips ist Robert Yannes, welcher für MOS TECHNOLOGIES schon den Soundchip des Commodore VIC 20⁵² mitentwickelt hat. Sein persönlicher Ehrgeiz während der Entwicklung des SIDs hing mit der Unzufriedenheit über damals verfügbare Soundchips zusammen:

Commodore C64 (1982)	
CPU; Taktfrequenz	6510; 1 MHz
RAM	64 kB bis 128 kB
ROM	20 kB
Datenträger	Kassette, Diskette, Modul
Kapazität	bis ~ 200 kB

„I thought the sound chips on the market [...] were primitive and obviously had been designed by people who knew nothing about music. [...] I was attempting to create a synthesizer chip which could be used in professional synthesizers.“ (zit. n. Weske 2000: o.S.)

Nach seiner Arbeit am SID gründet Yannes die Firma ENSONIQ, um sich der Entwicklung professioneller digitaler Synthesizersysteme zu widmen.

Die Unterschiede zwischen den beiden Modellrevisionen des SID, 6581 und 8580 sind marginal. Glashüttner erwähnt, dass der 8580 ein wenig klarer und schärfer klinge als der 6581, welcher wiederum „wärmere“, „analoger“ klingende Sounds produziere (vgl. Glashüttner 2000: 1f). Der SID-Chip markiert im Vergleich zu den anderen hier vorgestellten Soundchips den obertonreichsten und abwechslungsreichsten Grund-„Sound“. Er besitzt durch seinen genuinen Eigenklang mehr Charakter als andere Soundchips.

2.3.1.1 Klangerzeugung und technische Übersicht

Der SID stellt einen nach den Grundsätzen der subtraktiven Klangsynthese aufgebauten Synthesizer auf einem Chip dar, der mit drei programmierbaren Oszillatoren, jeweils vier wählbaren Wellenformen (Dreieck, Sägezahn, variable Pulswelle und Rauschen) sowie einem ADSR-Hüllkurvengenerator pro Kanal ausgestattet ist. Er besitzt zur weiteren Klangformung die Möglichkeit der Synchronisierung und der Ringmodulation zweier Oszillatoren sowie ein programmierbares, resonanzfähiges Filter mit drei verschiedenen, miteinander kombinierbaren Charakteristiken, welchem der Klang beliebiger Kanäle zugeführt werden kann. Der Chip er-

⁵² Der Rechner hieß in Europa VC 20 und in Japan VC 1001 (Wurster 2002: 303). Sein auch VIC genannter Soundchip, der MOS 6561 ist von den Fähigkeiten vergleichbar mit dem SN 76489 AN bzw. Pokey, klanglich ähnelt er dem SID. Ewing (o.J.) bietet eine technische Dokumentation des MOS 6561.

laubt die Abfrage zweier Potentiometer über seine 8 Bit-I/O-Ports und bietet die Möglichkeit der Beimischung eines externen Audiosignals. Darüber hinaus besitzt er einen Zufallsgenerator. Das Blockdiagramm (Abb. 6) bietet eine Übersicht der verschiedenen Elemente.

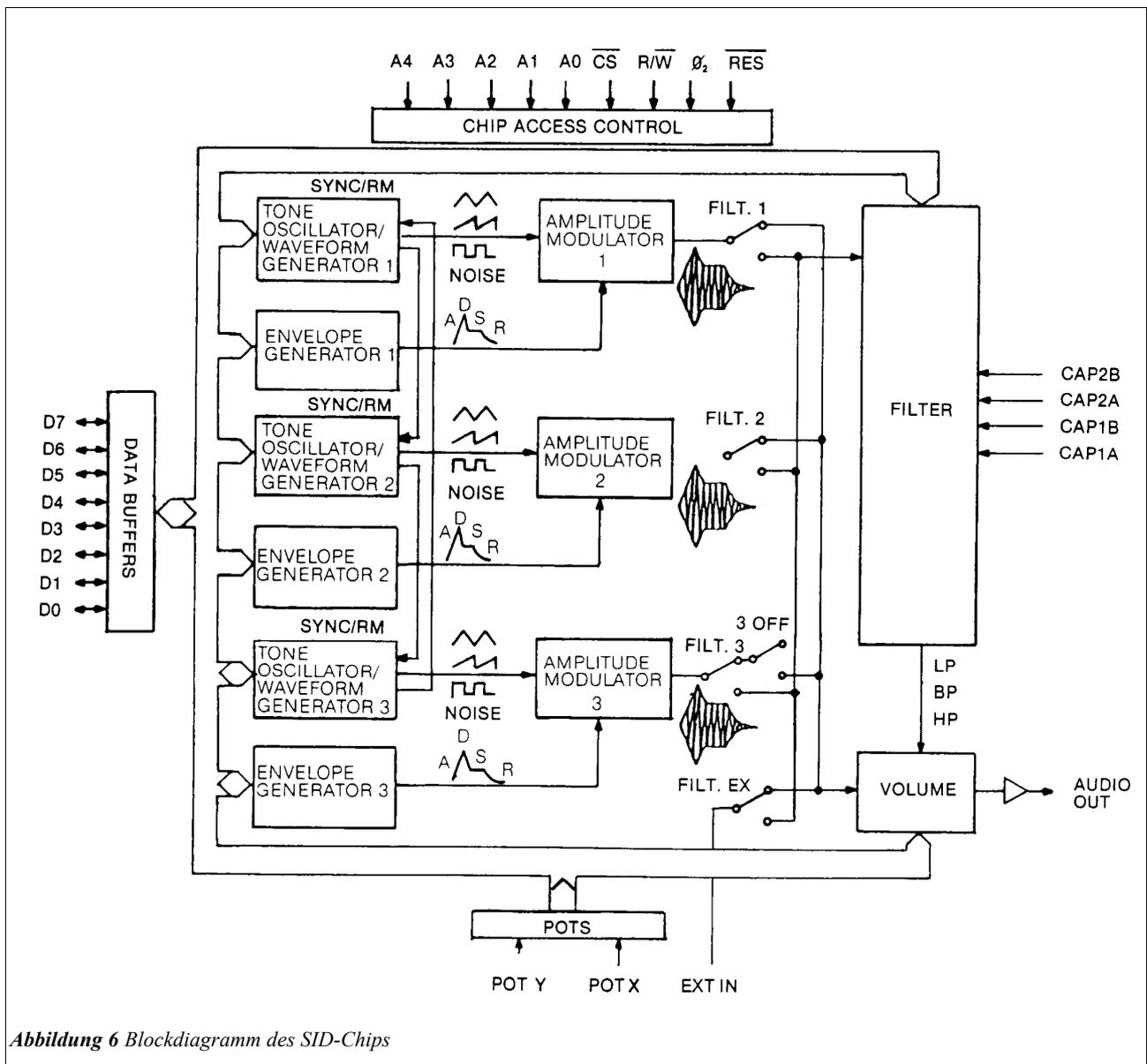


Abbildung 6 Blockdiagramm des SID-Chips

Der SID bietet somit im Vergleich zu den konkurrierenden Soundchips seiner Zeit eine geradezu opulente Ausstattung. Die Tonhöhen der Oszillatoren werden beim SID ebenso wie bei den anderen vorgestellten Soundchips durch die Methode der Frequenzdivision errechnet. Anders als bei diesen befindet sich beim SID jedoch der Wert des Frequenzregisters im Zähler und nicht im Nenner, was zu einer musikalisch sinnvollen, fein aufgelösten Skala von 65536 verschiedenen Tonhöhen führt⁵³.

⁵³ $F_{OUT} = (N_{(16)} * F_{clk} / 16777216)$ Hz, wobei $N_{(16)}$ dem 16 Bit-Wert der Frequenzregister entspricht, F_{clk} der Eingangstaktfrequenz. Bei der Standard-Taktfrequenz von 1MHz produziert der SID Grund-Frequenzen zwischen 0 Hz und 3906 Hz. Der höchste (Grund-)Ton liegt somit zwischen A#7 und B7, womit die Standard-Klavatur abgedeckt ist.

Wie bereits erwähnt enthält auch der Pokey-Chip einen 16 Bit-Modus mit gleich vielen unterschiedlichen Tonhöhen, er kann jedoch aufgrund der ungünstigen Umrechnungsformel nicht mit der Auflösung des SID konkurrieren: Hohe Frequenzen sind beim Pokey nur in weitaus gröberer Rasterung als beim SID erzeugbar. Der SID besitzt drei Wellenformgeneratoren. Nach der D/A-Wandlung durchläuft das erzeugte Audio-Signal den vom Hüllkurvengenerator gesteuerten Amplitudenmodulator sowie Filter und Verstärker. Die Steuerdaten der letzteren Bauteile durchlaufen zum Zweck der (Audio-)Signalbearbeitung jeweils einen eigenen D/A-Wandler (vgl. Glasshüttner 2000: 3).

2.3.1.2 Beschreibung der Programmierung anhand der Registertabelle

Address					Reg #	Data								Reg Name	Reg Type
A4	A3	A2	A1	A0	(Hex)	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
VOICE 1															
0	0	0	0	0	00	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0	Freq Lo	Write-only
1	0	0	0	0	01	F15	F14	F13	F12	F11	F10	F9	F8	Freq Hi	Write-only
2	0	0	0	1	02	PW7	PW6	PW5	PW4	PW3	PW2	PW1	PW0	PW LO	Write-only
3	0	0	0	1	03	—	—	—	—	PW11	PW10	PW9	PW8	PW HI	Write-only
4	0	0	1	0	04	NOISE				TEST	RING MOD	SYNC	GATE	Control Reg	Write-only
5	0	0	1	0	05	ATK3	ATK2	ATK1	ATK0	DCY3	DCY2	DCY1	DCY0	Attack/Decay	Write-only
6	0	0	1	1	06	STN3	STN2	STN1	STN0	RLS3	RLS2	RLS1	RLS0	Sustain/Release	Write-only
VOICE 2															
7	0	0	1	1	07	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0	Freq Lo	Write-only
8	0	1	0	0	08	F15	F14	F13	F12	F11	F10	F9	F8	Freq Hi	Write-only
9	0	1	0	0	09	PW7	PW6	PW5	PW4	PW3	PW2	PW1	PW0	PW LO	Write-only
10	0	1	0	1	0A	—	—	—	—	PW11	PW10	PW9	PW8	PW HI	Write-only
11	0	1	0	1	0B	NOISE				TEST	RING MOD	SYNC	GATE	Control Reg	Write-only
12	0	1	1	0	0C	ATK3	ATK2	ATK1	ATK0	DCY3	DCY2	DCY1	DCY0	Attack/Decay	Write-only
13	0	1	1	0	0D	STN3	STN2	STN1	STN0	RLS3	RLS2	RLS1	RLS0	Sustain/Release	Write-only
VOICE 3															
14	0	1	1	1	0E	F7	F6	F5	F4	F3	F2	F1	F0	Freq Lo	Write-only
15	0	1	1	1	0F	F15	F14	F13	F12	F11	F10	F9	F8	Freq Hi	Write-only
16	1	0	0	0	10	PW7	PW6	PW5	PW4	PW3	PW2	PW1	PW0	PW LO	Write-only
17	1	0	0	0	11	—	—	—	—	PW11	PW10	PW9	PW8	PW HI	Write-only
18	1	0	0	1	12	NOISE				TEST	RING MOD	SYNC	GATE	Control Reg	Write-only
19	1	0	0	1	13	ATK3	ATK2	ATK1	ATK0	DCY3	DCY2	DCY1	DCY0	Attack/Decay	Write-only
20	1	0	1	0	14	STN3	STN2	STN1	STN0	RLS3	RLS2	RLS1	RLS0	Sustain/Release	Write-only
Filter															
21	1	0	1	0	15	—	—	—	—	—	FC2	FC1	FC0	FC LO	Write-only
22	1	0	1	1	16	FC10	FC9	FC8	FC7	FC6	FC5	FC4	FC3	FC HI	Write-only
23	1	0	1	1	17	RES3	RES2	RES1	RES0	Filt EX	Filt 3	Filt 2	Filt 1	RES/Filt	Write-only
24	1	1	0	0	18	3 OFF	HP	BP	LP	VOL3	VOL2	VOL1	VOL0	Mode/Vol	Write-only
Misc															
25	1	1	0	0	19	PX7	PX6	PX5	PX4	PX3	PX2	PX1	PX0	POTX	Read-only
26	1	1	0	1	1A	PY7	PY6	PY5	PY4	PY3	PY2	PY1	PY0	POTY	Read-only
27	1	1	0	1	1B	07	06	05	04	03	02	01	00	OSC3/Random	Read-only
28	1	1	1	0	1C	E7	E6	E5	E4	E3	E2	E1	E0	ENV3	Read-only

Abbildung 7 Registertabelle des SID

Der Chip besitzt 29 Register, wobei die ersten 25 *write-only* sind und somit die Klangerzeugung des SID beeinflussen. Die letzten vier sind *read-only*, können also nicht verändert werden. Pro Stimme sind sieben Register (0-6, 7-13, 14-20) für die Klangerzeugung zuständig, vier Register steuern das Filter. Die Steuerung der Tonhöhen der Oszillatoren erfolgt über die 16 Bit großen Zahlenwerte der entsprechenden Register. Register 4, 11 und 18 sind logische Kontrollregister der jeweiligen Stimme. Sobald in diesen das entsprechende Gate-Bit auf 1 gesetzt ist, wird der Hüllkurvengenerator der jeweiligen Stimme getriggert und steuert den Lautstär-

kenverlauf (Attack, Decay, Sustain) des nun wiedergegebenen Klangs. Sobald das Gate-Bit auf 0 gesetzt wird, beginnt der Release-Abschnitt des Hüllkurvengenerators, womit der Klang ausklingt, wenn nicht während der Ausklingphase ein neuer Klang getriggert wird⁵⁴. Wenn im Kontrollregister das SYNC-Bit (D1) auf 1 gesetzt wird, synchronisiert dies den Nulldurchgang der Oszillatoren zueinander⁵⁵ was einen „Hard Sync“-Effekt ergibt, der komplexe Obertöne zu der Grundfrequenz hinzufügt. Die Ringmodulation kann in Bit D2 des Kontrollregisters aktiviert werden. Dann wird die Dreieckswelle des gewählten Oszillators durch eine Ringmodulation der beiden jeweiligen Oszillatorfrequenzen ersetzt. Durch Setzen des Test-Bits wird der Noise-Output zurückgesetzt und der Pulswellen-Output auf einem konstanten Spannungsniveau gehalten. Wie der Name schon sagt, wurde das Bit für Test-Zwecke implementiert, es ist jedoch auch als Synchronisationsmittel und zur experimentellen Klangerzeugung verwendet worden. Die restlichen 4 Bits der Kontrollregister fungieren als Wellenformselektoren: Der Oszillator erzeugt die dem jeweiligen Bit entsprechende Wellenform, wobei auch mehrere Wellenformen auf einmal gewählt werden können, was zu keiner Mischung der Wellenform wie bei einem klassischem Synthesizer führt, sondern geräuschhaftere Klänge erzeugt. Diese Eigenart führt zu einem interessanten Aufstocken der verfügbaren Wellenformen.

Die Register 2 und 3 (bzw. 9 und 10 sowie 16 und 17) steuern die Pulsweitenmodulation⁵⁶, bleiben also bei anderen Wellenformen als der Pulswelle ohne Auswirkungen auf den Klang. Die modulierte Pulswelle ist als Bass-Sound einer der bekanntesten und am häufigsten verwendeten Klänge des SID-Chips. Die Hüllkurvengeneratoren werden über die in die entsprechenden Register⁵⁷ geschriebenen Werte gesteuert. Dabei steht für jeden der vier Hüllkurvenwerte ein 4 Bit großes Wort. Die Werte für Attack, Decay und Release generieren eine bestimmte Dauer für die jeweilige Phase der Hüllkurve, welche von der Eingangstaktfrequenz abhängig ist. Tabelle 1 zeigt die hierzu korrelierenden Dauern. Ein Attack-Wert von 2 würde den Hüllkurvengenerator dementsprechend veranlassen, die Lautstärke des generierten Klangs innerhalb von 16 ms vom Minimum zum Maximum zu steuern. Der Decay-Wert regelt die Dauer vom Maximum zum Sustain-Level, welches einem linearen Wert zwischen 0 und 15 entspricht.

Die Register 21 und 22 enthalten einen 11 Bit großen Wert, der die Filtereckfrequenz auf lineare Weise in 2048 Schritten steuert. Die Eckfrequenz des Filters ist von der Kapazität der verbauten Kondensatoren abhängig, laut des Data Manuals liegt die Eckfrequenz zwischen 30 Hz und 20 kHz, in späteren Revisionen des C64

Wert	Attack-Zeit	Decay-/Release-Zeit
(Eingangstaktfrequenz = 1 MHz)		
0	2 ms	6 ms
1	8 ms	24 ms
2	16 ms	48 ms
3	24 ms	72 ms
4	38 ms	114 ms
5	56 ms	168 ms
6	68 ms	204 ms
7	80 ms	240 ms
8	100 ms	300 ms
9	250 ms	750 ms
10	500 ms	1,5 s
11	800 ms	2,4 s
12	1 s	3 s
13	3 s	9 s
14	5 s	15 s
15	8 s	24 s

Tabelle 1 Die verschiedenen Dauern der Hüllkurven-Phasen in Relation zu den Registerwerten (vgl. Commodore o.J.:5)

⁵⁴ Das Setzen des GATE-Bits auf 0 entspricht also dem Loslassen der Taste auf einer Klaviatur beim analogen Synthesizer. Ein erneutes Triggern des Hüllkurvengenerators durch Setzen des GATE-Bits auf 1 wird diesen dazu veranlassen, wiederum mit der Attack-Phase einen neuen Durchlauf zu beginnen.

⁵⁵ Je nach Kanal wird die Frequenz des ersten Oszillators zu der des dritten (R4) bzw. die des zweiten zum ersten (R11) bzw. die des dritten zum zweiten (R18) synchronisiert. Dieselbe Richtung der Einflussnahme (1→3, 2→1, 3→2) gilt auch für den Ringmodulator.

⁵⁶ Die Pulsbreite wird nach folgender Formel errechnet: $PW_{out} = (PW_n / 40,95) \%$, wobei PW_n dem 12-Bit-Wert der o.g. Register entspricht. Steht der Wert auf 0 (\$000) oder 4095 (\$FFF), wird eine konstante Spannung abgegeben, der Mittelwert von 2048 (\$800) produziert dementsprechend eine Rechteckswelle.

⁵⁷ Also je nach Kanal 5 und 6 bzw. 12 und 13 sowie 19 und 20.

wurden Kondensatoren mit abweichenden Kapazitäten verwendet, wodurch auch die Eckfrequenz einer Veränderung unterlag. Daher führte die Benutzung des SID-Filters auf verschiedenen Exemplaren des C64 zu unterschiedlichen klanglichen Ergebnissen:

„[T]here's a three-state filter which would doubtless[ly] come in very handy if only you were allowed to use it. Trouble is, the filters on old 64s are calibrated so differently from those on newer machines, that a piece of filter-inspired commercial software might sound great on one person's 64, but utterly appalling on others“ (Vosburgh o.J.: o.S.).

Auch Chris Hülsbeck berichtet von Erfahrungen mit seinem ersten Stück „Shades“ (♫009, ♫010), nach denen er in der Benutzung des Filters sehr vorsichtig geworden sei⁵⁸. Die Resonanz des Filters, welche die Frequenzen um die Filtereckfrequenz hervorhebt, kann durch einen 4 Bit-Wert linear zwischen 0 (keine Resonanz) und 16 (maximale Resonanz) geregelt werden. Die restlichen Bits des Registers 23 legen fest, ob das Filter das Signal der jeweilige Stimme oder des externen Audio-Eingang beeinflusst. Register 24 enthält u.a. die Schaltung der Filtercharakteristik und die Regelung der Gesamtlautstärke. Erstere lässt sich zwischen Lowpass (LP), Bandpass (BP) und Highpass (HP) umschalten, die Gesamtlautstärke des SID kann linear in 16 Schritten geregelt werden.

Register 25 und 26 sind die ersten beiden Read-Only-Register des SID, in welche die A/D-Wandler der optional angeschlossenen Potentiometer alle 512 Eingangstaktzyklen einen 8 Bit-Wert schreiben. Der C64 besitzt standardmäßig keine angeschlossenen Potentiometer, findige Bastler erweiterten den Computer jedoch, um mit Hilfe von Drehreglern mehr Kontrolle über die Klangverläufe (v.a. Filtereckfrequenz und Resonanzfrequenz) des SID zu bekommen. Auch die auf dem SID-Chip basierende SID-STATION, ein Mitte der 1990er Jahre entworfener, kommerzieller digitaler Synthesizer⁵⁹, bedient sich dieser Möglichkeit.

Ein Abbild der von Oszillator 3 generierten Wellenform findet sich in Register 27 wieder, welches als LFO oder (im Falle eines Rauschens) für Sample & Hold - Effekte genutzt werden kann, wofür der Audio-Ausgang des dritten Oszillators ausgeschaltet werden sollte (indem das „3OFF“-Bit in Register 24 gesetzt wird). Register 28 enthält die Werte des dritten Hüllkurvengenerators, die zum Beispiel als Filter- oder PWM-Hüllkurve fungieren können. Für eine Beschreibung des ENV3-Registers (29) muss das Gate-Bit des dritten Klangkanals (R18) auf 0 gesetzt werden. Das Auslesen der Read-Only Register und das Routen der Werte auf Modulationsziele wie Tonhöhen- oder Filterfrequenz geschieht softwareseitig, da der SID keine entsprechende interne Modulationsmatrix bietet.

⁵⁸ *„Ich wusste zu dem Zeitpunkt nicht, dass es unterschiedliche C64 Revisionen gegeben hat. Ich hatte ja nur einen zu Hause und ging davon aus, dass der Filter auf jedem C64 gleich klingt. Dann habe ich das Stück mit Filterprogrammierung eingeschickt und hab den ersten Platz gemacht [♫009]. Im Nachhinein habe ich den Track auf mehreren anderen C64s gehört und war ganz erstaunt, wie unterschiedlich das klingt. Auf manchen war der Filter sogar so zu, dass man die Melodie gar nicht mehr hören konnte. Also habe ich für die nächste Ausgabe dieser Zeitschrift ein Programm geschrieben, mit dem man diesen Filter an verschiedene C64 anpassen konnte. Dadurch konnte man den Filter für alle Sounds in dem Stück höher oder tiefer schrauben und dann das Stück als neue Version [♫010]abspeichern. [...] Deswegen war ich später immer relativ vorsichtig mit dem Filter“ (Hülsbeck 2005a).*

⁵⁹ <http://www.sidstation.com/> (15.06.2005).

2.3.2 Der 2A03 im Nintendo Famicom / Entertainment System

Das 1983 in Japan erscheinende NINTENDO FAMICOM bzw. 1985 in anderem Gehäuse als NINTENDO ENTERTAINMENT SYSTEM (NES) in den USA und Europa eingeführte Videospielsystem ist mit weltweit über 60 Millionen verkauften Exemplaren eine der erfolgreichsten Spielkonsolen. Erst im September 2003 wird die letzte Produktionsstraße der Konsole in Japan auf-

Nintendo Famicom / Nes (1983 / 1985)	
CPU; Taktfrequenz	Ricoh 2A03; 1,79 MHz
RAM	2 kB + 2,25 kB VRAM
Datenträger	Modul, Kasette (jp.), Diskette (jp.)
Kapazität	bis 512 kB

gegeben, da wichtige Bauteile am Markt nicht mehr erhältlich sind (vgl. Yamauchi 2003). Als CPU besitzt sie eine um Soundgeneratoren erweiterte, von RICOH produzierte Version des MOS 6502, den 2A03. Dieser wird ab Markteinführung in überaus großer Stückzahl gefertigt, um die Kosten gering zu halten (vgl. Sheff 1993: 41f). Ein Data Manual des Prozessors liegt im Gegensatz zu anderen Soundchips nicht vor. Dies mag auch daran liegen, dass es sich nicht um einen eigenen Soundchip handelt, sondern digitale Oszillatoren über CPU-Register angesteuert werden. Außerdem existieren für Spielkonsolen gemeinhin weniger verfügbare Detail-Informationen, als für die Heimcomputer, da diese als 'Blackboxes' konzipiert sind und für den Benutzer bzw. den Spieler die interne Funktionsweise i.d.R. nicht von Interesse ist. Womöglich existiert eine japanische Dokumentation der Klangerzeugung, da dort anders als in Europa und Amerika ein BASIC-KIT für das FAMICOM erschienen ist (NINTENDO, 1984), welches die Programmierung der Konsole ermöglicht. Die folgenden technischen Daten basieren daher primär auf dem „NES Sound Channel Guide“ von Brad Taylor (Taylor 2000b).

Die Klangerzeugung des 2A03 umfasst 4 Kanäle. Die Oszillatoren sind im Vergleich zu denen des SID weitaus beschränkter: Zwei Pulswellen mit je vier wählbaren Pulsbreiten, eine Dreieckswelle und ein Rauschkanal stehen zur Verfügung. Außerdem existiert in den europäischen und amerikanischen Modellen ein fünfter Kanal, der „Delta Modulation Channel“, welcher PCM-kodierte Samples abspielen kann, wozu über DMA (Direct Memory Access) ein 1 Bit breiter Datenstrom direkt vom Speicher gelesen wird. Aufgrund des limitierten Modul-Speicherplatzes und des Fehlens dieses Kanals im japanischen FAMICOM kam diese Technik jedoch kaum zum Einsatz⁶⁰.

⁶⁰ Genaue Zahlen über den Sample-Kanal unterstützenden Spiele liegen nicht vor. Der Willkommenssatz des Spiels GAUNTLET II (MINDSCAPE, 1990; ♪104) stellt ein Beispiel für die Qualität der Sample-Wiedergabe mittels DMC dar.

Funktionsweise der Klangerzeugung

Für die Tonhöhenberechnung der Oszillatoren wird die interne Chip-Taktfrequenz von 1,79 MHz durch den 11 Bit-großen Tonhöhen-Wert des jeweiligen Kanals, addiert mit eins, dividiert, was zu 2048 möglichen Werten führt. Dieser Ausgangs-Wert dient dem jeweiligen Oszillator als Grundlage für die resultierende Tonhöhe. Die Dreieckswelle wird durch einen 5 Bit Dreieckswellengenerator anhand der auf Basis des 11 Bit-Wertes ausgerechneten Frequenz generiert. Die beiden Pulswellen werden durch 4 Bit Zähler erzeugt⁶¹. Die Aufteilung der generierten Werte der Pulswellengeneratoren ist je nach Pulsbreiten-Bits (in Klammern): 2:14 (00), 4:12 (01), 8:8 (10) oder 12:4 (11). Die Pulsbreite entspricht also 12,5 %, 25 %, 50 % oder 75 %, was in verschiedenen Obertonanteilen und damit unterschiedlich vollen Klangfarben resultiert.

Register	Kanal	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	
\$4000	Pulswelle 1	Pulsbreite		Tondauer-Zähler aus /Decay loopen	Hüllkurve aktivieren	Lautstärke / Hüllkurve Anfangswert				
\$4001		Sweep an	Sweep Update Rate			Sweep Richtung	Right Shift Amount			
\$4002		8 LSB der Tonhöhe								
\$4003		Tondauern-Zähler Anfangswert					3 MSB der Tonhöhe			
\$4004	Pulswelle 2	Pulsbreite		Tondauer-Zähler aus /Decay loopen	Hüllkurve aktivieren	Lautstärke / Hüllkurve Anfangswert				
\$4005		Sweep an	Sweep Update Rate			Sweep Richtung	Right Shift Amount			
\$4006		8 LSB der Tonhöhe								
\$4007		Tondauern-Zähler Anfangswert					3 MSB der Tonhöhe			
\$4008	Dreieckswelle	Tondauer-Zähler aus	Linear Counter Load							
\$4009		unbenutzt								
\$400A		8 LSB der Tonhöhe								
\$400B		Tondauern-Zähler Anfangswert					3 MSB der Tonhöhe			
\$400C	Rauschen	unbenutzt		Tondauer-Zähler aus /Decay loopen	Hüllkurve aktivieren	Lautstärke / Hüllkurve Anfangswert				
\$400D		unbenutzt								
\$400E		Zufallszahlen-generator Typ	unbenutzt			Playback Sample Rate				
\$400F		Tondauern-Zähler Anfangswert					unbenutzt			
\$4015 (Read)	Tondauer-Zähler Status	IRQ Status von DMC	unbenutzt		DMC	Rauschen	Dreieck	Puls 1	Puls 2	
\$4015 (Write)	Kanal aktivieren	unbenutzt			DMC	Rauschen	Dreieck	Puls 1	Puls 2	

Tabelle 2 Die für die Klangerzeugung zuständigen Register des 2A03 (nach Taylor 2000b)

Die Berechnung der Tondauern wird für alle Kanäle anhand von Zählern realisiert. Diese zählen von einem 7 Bit-Wert aus mit einer Frequenz von 60 Hz (mutmaßlich 50 Hz in der PAL-Version⁶²) abwärts, bis der Wert 0 erreicht wird. Dann wird die Klanguausgabe auf dem entsprechenden Kanal gestoppt und der Zähler verbleibt

⁶¹ Die Frequenz der Dreieckswelle (32 Taktzyklen zur Beschreibung eines Wellendurchgangs) entspricht also einem 32tel des aus der Frequenzdivision gewonnen Wertes, die der Rechteckwellen (16 Taktzyklen pro Durchgang) einem 16tel. Damit liegt der Tonumfang der Dreieckswelle insgesamt eine Oktave unter den Rechteckwellen.

Bits 7-3		Startwert (Dez)	Dauer (s)
00011		1	0,017
00101		2	0,033
00111		3	0,05
01001		4	0,067
00111	00000	5	0,083
01101	10000	6	0,1
01111	01100	7	0,117
10001	11100	8	0,133
10011		9	0,15
10101	11110	10	0,167
10111		11	0,183
11001	10010	12	0,2
11011		13	0,217
11101	01110	14	0,233
11111		15	0,25
11110		16	0,267
00100		20	0,333
10100		24	0,4
01010		30	0,5
11010		36	0,6
00110		40	0,667
10110		48	0,8
01000		80	1,333
11000		96	1,6
00001		127	2,117

Tabelle 3 Die verschiedenen Tondauern, die der jeweilige Zähler bei einer Frequenz von 60 Hz aus den Bits 7-3 generiert (nach Taylor 2000b).

auf 0. Über das „Tondauer-Zähler aus“-Bit kann der jeweils gespielte Ton auch länger gehalten werden, da der Zähler dann beim aktuellen Wert verbleibt. Der 7 Bit-Startwert des jeweiligen Zählers wird aus einem 5 Bit-Wert (Register \$4003, \$4007, \$400B, \$400F) erzeugt und kann 25 verschiedene Tondauern generieren, die in Tabelle 3 exemplarisch abgebildet sind.

Wenn die Hüllkurve mit dem entsprechenden Bit (der Register \$4000, \$4004 und \$400C) deaktiviert wurde, wird der Ausgang der jeweiligen Stimme mit dem in Bits 0-3 geschriebenen Lautstärkewert (von 0-16) an den jeweiligen DAC (Digital-Analog Converter) übergeben. Die Signale der beiden Pulswellen sowie der Ausgang von Dreieckswelle und Rauschen liegen jeweils an einem gemeinsamen Pin des Chips an, werden also hardwareseitig gemischt.

Ist die Hüllkurve aktiviert, regelt sie die Amplitude von Pulswellen und Rauschkanal linear auf 0. Dieses Decay (die Ausklingzeit) wird von einem abwärts zählenden 4 Bit-Zähler⁶³. Wenn der Zähler 0 erreicht, wird je nach Status des „Decay loopen“ Bits entweder die Decay-Phase wiederholt (was in einem Tremolo-Effekt resultiert) oder der Kanal bleibt still. Nur die Pulswellenkanäle und der Rauschkanal besitzen diese Art der Hüllkurve. Die Ausklingzeit des Dreieckswellenkanals generiert ein linearer Zähler, mit dem eine Ausklingzeit von maximal einer knappen halben Sekunde möglich wird⁶⁴.

Die Klangerzeugung der Pulswellen besitzt darüber hinaus eine Sweep-Funktion, also einen Portamento-Effekt, bei dem der betreffende Kanal von dem bisher wiedergegebenen Wert auf die nächste Tonhöhe gleitet. Dabei wird der für die Tonhöhe zuständige 11 Bit-Wert kontinuierlich ausgelesen und neu geschrieben. Der Effekt wird über das Register \$4001 bzw. \$4005 gesteuert. Hierfür gibt es ein Aktivierungs-Bit, ein Bit legt darüber hinaus die Richtung des Sweep-Effekts fest. Die Sweep-Rate bestimmt, wie häufig neue Werte abgelegt werden und regelt damit die Länge des Effekts⁶⁵.

Wie erwähnt, entstammen diese Informationen auf der FAQ von Brad Taylor (2000b), über diese Quelle hinaus war keine Dokumentation der Klangerzeugung verfügbar. Die Dreieckswelle des 2A03 klingt relativ analog und bildet einen angenehmen Kontrast zu den beiden Rechteckwellen, die Klangerzeugung bietet im Vergleich zum SID jedoch nur limitierte Möglichkeiten.

⁶² Nicht geklärt ist, ob die in den Formeln angegebenen Frequenzen auch in der PAL-Version dieselben sind. Da sich in den bei Taylor genannten Formeln häufig durch 60 teilbare Werte befinden, liegt die Vermutung nahe, dass für die PAL-Version des Gerätes diese durch das jeweils durch 50 teilbare Produkt ersetzt werden müssen.

⁶³ Die Dauer dieser wird wie folgt berechnet: $240\text{Hz} / (N+1)$, wobei N dem 4 Bit Wert aus den Registern \$4000, \$4004 bzw. \$400C entspricht. Die Ausklingzeit für diese drei Klangkanäle kann somit zwischen 0,133 und 1,067 Sekunden liegen.

⁶⁴ Dieser Zähler zählt vom 7 Bit-Wert des nur bei der Dreieckswelle vorhandenen „Linear Counter Load“ Registers aus mit einer Frequenz von 240 Hz bis auf 0.

⁶⁵ Die Erneuerungsrate ist abhängig vom Prozessortakt und entspricht $120\text{ Hz} / N+1$, wobei N dem 3 Bit-großen Sweep-Rate-Wert entspricht. Je höher der Wert, desto länger also der Effekt.

Die Beschränkung auf die verfügbaren Stimmen und Klangfarben wurden bei einigen wenigen Spielen der japanischen Hersteller KONAMI, NINTENDO, NAMCO und SUNSOFT ab Ende der 1980er Jahre durch in den Spielmodulen implementierte Zusatz-Soundchips umgangen⁶⁶.

2.3.3 PSG-Sound in den 1990ern: der Nintendo Game Boy

Als der NINTENDO GAME BOY 1989 auf den Markt kommt, gilt der auf einem ZILOG Z 80 basierende und nur vier Graustufen darstellende 8 Bit-Handheld bereits als veraltet. Die Konkurrenzprodukte SEGA GAME GEAR (SEGA, 1990) und ATARI LYNX (ATARI, 1989) bieten Farbdisplays mit Hintergrundbeleuchtung, haben dadurch jedoch den Nachteil eines hohen Batterieverbrauchs.

	Game Boy (1989)	Game Boy Color (1996)	Game Boy Advance (2001)
CPU; Taktfrequenz	Sharp Z80; 4,2 MHz	Sharp Z80; 4,2 / 8,4 MHz	ARM7-Variante; 16,7 MHz
RAM	8 kB + 8 kB	8 kB + 16 kB VRAM	32 kB + 96 kB VRAM + 256 kB WRAM + 16 kB Sound
Modulkapazität	0,25 bis 4 MBit	0,25 bis 8 MBit	bis 256 MBit

Der preislich günstigere GAME BOY wird zusammen mit einem Link-Kabel und dem Spiel TETRIS (NINTENDO, 1989) ausgeliefert und verkauft sich bis 1995 hervorragend. Vor allem durch die Popularität des Spiels POKÉMON (NINTENDO, 1995) wird der bereits in Ablösung begriffene GAME BOY in den Jahren 1996 (POCKET) und 1998 (COLOR) zwei Überarbeitungen unterzogen und bis über das Erscheinen des Nachfolgers GAME BOY ADVANCE (2001) hinaus erfolgreich weiterverkauft. Weltweit werden bis 2002 über 120 Millionen Geräte der verschiedenen Revisionen abgesetzt (vgl. Forster 2005: 128f). Die in dem Hauptprozessor integrierte Klangerzeugung des GAME BOYS (auch als RICOH DMG SYSTEM bekannt), die über die verschiedenen Gerätegenerationen beibehalten wird, stellt vier PSG-Klangkanäle zur Verfügung: Zwei Pulswellenkanäle und einen Wavetable-Kanal, der mit einer 32 Werte langen Wellenform mit einer Auflösung von 4 Bit beschrieben werden kann⁶⁷. Darüber hinaus ist ein Rauschkanal integriert⁶⁸.

Die ersten drei Kanäle besitzen demzufolge einen Tonumfang von 64 Hz bis 131072 Hz. Der Rauschkanal kann Frequenzen von 2 Hz bis 1048576 Hz produzieren, wobei beide Extreme weit außerhalb des menschlichen Hörbereichs liegen. Lediglich der erste Kanal besitzt einen Sweep-Effekt (Portamento), die Pulsbreite der beiden Pulswellen lässt sich wie beim NES zwischen 12,5 %, 25%, 50 % und 75 % wählen. Auch in den Berechnungen von Tonhöhe und Tönlängen ist die Klangerzeugung des GAME BOYS der des NES sehr ähnlich. Auch der GAME BOY errechnet die 1024 möglichen Tonhöhen aus einem 11 Bit-Wert, die möglichen Tondauern sind auf 32 verschiedene beschränkt, neben den vier verschiedenen Pulsbreiten sind weder Filter noch

⁶⁶ Diese Soundchips tragen die Namen VRCVI, VRCVII, MMC5 audio, Namco 106 und Sunsoft FME-07 und finden sich z.B. in CASTLEVANIA 3, AKUMAJOU DENSETSU (KONAMI, 1989), sowie den Titeln MOURYOU SENKI MADARA (KONAMI, 1990), JUST BREED (ENIX, 1992), SHIN 4-JIN UCHI MAHJONG: YAKUMAN TENGOKU (NINTENDO, 1991), KING OF KINGS (NAMCO, 1988), GIMMICK (SUNSOFT, 1992) und LAGRANGE POINT (KONAMI, 1991) (vgl. Horton 1999a, 1999b und Mamiya o.J.). Die Zusatz-Soundchips basieren teilweise auf FM-Synthese (FAMICOM DISC SYSTEM Sound, Namco 106 und VRCVII, vgl. Horton 1999b und Horton 2000) oder schon bekannten Technologien wie dem AY-Chip (Sunsoft FME-07, vgl. Horton 2000). Die o.g. Spiele sind ebenso wie das FAMICOM DISC SYSTEM nur in Japan erschienen.

⁶⁷ Ein Beispiel für eine Wellenform mit 5 Bit großen Hex-Werten findet sich in Fußnote 85 bei der Beschreibung der Klangerzeugung des PC-ENGINE

⁶⁸ Diese und die folgenden Daten zur Klangerzeugung des GAME BOY stammen von Gevaryahu (2004).

Hüllkurven zur weiteren Klangbearbeitung enthalten. Da der GAME BOY batteriebetrieben ist und der eingebaute Bildschirm weltweit mit der gleichen Bildwiederholfrequenz arbeitet, ist hier der bei anderen Plattformen wichtige Unterschied zwischen PAL- und NTSC-Hardware (50 Hz / 60 Hz) irrelevant.

Der GAME BOY ist für die Soundchip-Musik von Computerspielen aufgrund der großen Verbreitung und dem langen Lebenszyklus von über zehn Jahren als überaus wichtig einzustufen. Mit der großen Zahl von Konvertierungen klassischer Computerspiele wurde auch die klassische Soundchip-Musik weiter portiert, wobei die Eigenheiten der beschränkten Klangerzeugung und damit sein „Sound“ einer ebenso großen Verbreitung unterliegen. Der Game Boy hat darüber hinaus ab Ende der 1990er Jahre durch spezielle Software für die populäre Soundchip-Musik eine große Bedeutung als Klangerzeuger erlangt.

2.4 Die Bedeutung der PSGs für Soundchip-Musik

Die besprochenen PSG-Soundchips haben in Abgrenzung zu den ihnen folgenden, auf den Technologien FM-Synthese und Sampling basierenden Chips ab Mitte der 1980er Jahre einen durch die reduzierten technischen Möglichkeiten der Klangerzeugung bedingten Eigenklang, der sich durch die Verwendung einfacher Wellenformen und das Fehlen von aufwendigen Möglichkeiten der Klangmanipulation auszeichnet. Für die in der „Sound Culture“ von Computerspielmusik entstehenden Musikgenres populärer Soundchip-Musik (vgl. Kapitel 4) sind aus heutiger Sicht vor allem NES, C64 und GAME BOY als Klangerzeuger von Bedeutung. Auch der AY-Chip bzw. YM 2149 ist durch seinen massenhaften Einsatz in zahlreichen Computerspielsystemen und Heimcomputern wie dem ATARI ST für Soundchip-Musik ein häufig genutzter Klangerzeuger. AY bzw. YM-Musik ist jedoch weniger bekannt als z.B. Musik für den SID-Chip. Einige Musiker verwenden auch den COMMODORE VIC und selbst das ATARI VCS für die sog. Chiptunes. C64, NES und GAME BOY besitzen jedoch den größten 'Kultstatus', was auch an ihrer großen Verbreitung und der breiten Rezeption der für sie produzierten Software liegen mag.

Dem SID wird sowohl bei der Betrachtung von Computerspielmusik als auch dem Phänomen der Chiptunes besondere Aufmerksamkeit geschenkt, da der C64 für eine Generation von Computernutzern in Deutschland und Europa den ersten Kontakt mit dem Computer markiert. Eine große Zahl an Fan-Webseiten und die noch bis in die zweite Hälfte der 1990er Jahre aktive Demo-Szene⁶⁹ belegen dies. Gerade die weite Verbreitung des C64 verbunden mit den für damalige Verhältnisse überragenden Möglichkeiten der zu Experimenten einladenden Klangerzeugung führten dazu, dass die Komposition von Musikdateien für Soundchips nicht allein den Ingenieuren bzw. Programmierern der Spieleherstellern vorbehalten blieb.

⁶⁹ Unter Demo-Szene versteht man eine ab Mitte der 1980er Jahre aus der sog. Hacking- und Cracking-Szene hervorgegangene Bewegung, die in Gruppen organisiert möglichst eindrucksvolle Demos (audiovisuelle Demonstrations-Programme) für Computer programmiert (vgl. Tasajärvi 2004a). Über diese wird auf Partys mit anderen Demo-Groups in Konkurrenz getreten, eine bestimmte Datei-Größe darf dabei je nach „Disziplin“ nicht überschritten werden. Für Demo-Programmierung ist das Ziel also ebenso wie bei der Programmierung von Computerspielen ein im Rahmen der technischen Möglichkeiten „optimales“ audiovisuelles Ergebnis zu erreichen.

Interesse geweckt ?

Sie wollen gerne weiterlesen ?

Die MA-Arbeit ist mittlerweile in erweiterter und überarbeiteter Form als Buch herausgekommen:

Nils Dittbrenner

Soundchip-Musik. Computer- und Videospielemusik 1977-1994.

142 Seiten, mit CD-ROM, 17 €

ISBN 978-3923486946

<http://www.epos.uni-osnabrueck.de/music/templates/buch.php?id=75>

Auf der o.g. Internet-Seite befindet sich auch eine Online-Version des Buches.

Danke für die Aufmerksamkeit !