

Humboldt-Universität zu Berlin
Kultur-, Sozial- und Bildungswissenschaftliche Fakultät
Institut für Musik- und Medienwissenschaften
Seminar: Game Science (Veranstaltungsnr. 53524)
Dozent: Dr. Stefan Höltgen
Student: Philipp-Michael Zumpe
Sommersemester 2019

Die Ursprünglichkeit der Sounds von *Pong* – der Versuch eines Hardware-Reenactments

Philipp-Michael Zumpe (Matrikelnr. 582992)
Moosdorfstr. 13
12435 Berlin
Email: zumpephi@student.hu-berlin.de
Kernfach: Musikwissenschaft (Siebtes Fachsemester)
Zweitfach: Medienwissenschaften (Siebtes Fachsemester)

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2
2. Vorbetrachtung	...	...	...	...	...	...	...	...	...	3
3. Ping Pong	...	...	...	...	...	...	...	...	...	4
4. Der Ursprung der Sounds	...	...	...	...	...	...	...	...	...	6
5. Der Versuch eines Hardware-Reenactments	...	...	...	...	...	...	...	...	...	9
6. Auswertung	...	...	...	...	...	...	...	...	...	12
7. Abbildungen	...	...	...	...	...	...	...	...	...	14
8. Der Prototyp	...	...	...	...	...	...	...	...	...	17
9. Literaturverzeichnis	...	...	...	...	...	...	...	...	...	21
10. Abbildungsverzeichnis	...	...	...	...	...	...	...	...	...	22
11. Ludografie	...	...	...	...	...	...	...	...	...	22

Anhang: Eigenständigkeitserklärung
 Prüfungsprotokoll
 Prototyp

Einleitung

Um Ataris *Pong* ranken sich eine Vielzahl von Geschichten und Legenden, die einen wahren Mythos um die Entstehung von *Pong* schufen, das Spiel glorifizierend in den Olymp der Video- und Computerspiele heben und mit der Genese *Pongs* zu gerne der Urknall der heutigen Gaming-Landschaft manifestiert wird. Und *Pong* ist wahrlich ein bedeutendes Spiel im Hinblick auf die Anfänge virtueller Spiele und die vielfältigen entwicklungsgeschichtlichen Handlungsstränge bis hin zur heutigen stetig wachsenden Spieleindustrie.

Das von Atari im Jahr 1972 veröffentlichte Arcade-Spiel weist in seiner Funktion eine wesentliche Besonderheit auf und separiert sich so selektiv von anderen Video- und Computerspielen jener Zeit: *Pong* entsteht ohne die Verwendung von Software oder Mikroprozessoren. Das Spiel basiert auf einer logischen Verkettung diskreter Chips, die in ihrer Funktion klar definiert und auf bestimmte Art miteinander verschaltet sind. Dieser Schaltkreis produziert dann vollständig sowohl Grafik- und interaktive Steuerungselemente als auch erstmalig spielinhärente Sounds, die als die erste Computerspielmusik begriffen werden können. Diese Sounds sind in ihrem Wesen stark simplifiziert, hatten aber dennoch und vielleicht gerade deswegen einen großen Impact auf die Art und Weise, wie man Spiele solcher Art rezipiert. Sie erschlossen eine neue Dimension spielerischer Immersionseffekte und gaben den Spielenden über einen auditiv erfahrbaren Outputkanal ein direktes Feedback über das visuelle Spielgeschehen.

Aufgrund dieser rein hardwarebasierten Bauweise lässt sich anhand der Schaltpläne ein Hardware-Reenactment und so eine Ausarbeitung spezifischer Eigenschaften durchführen. Gegenstand dieser Hausarbeit ist eine Untersuchung des Videospiels *Pong* im Hinblick auf die Realisierung der Sounds. Ziel ist, ausgehend von einer theoretischen Auseinandersetzung mit Video- und Computerspielen und im Besonderen der technischen Prozesse von *Pong*, ein teilweiser Nachbau des Schaltkreises, um die Genese der Sounds in einer praktischen Studie nachzuvollziehen und technische Zusammenhänge aufzudecken. Es wird der Frage nach der Ursprünglichkeit dieser Klänge nachgegangen. Wo kommen die Sounds her und wie wurden sie in das Spiel *Pong* implementiert?

Vorbetrachtung

Um die Geschichte und die technische Pionierleistung hinter *Pong* als solche in ihrer Komplexität greifbarer zu machen, bedarf es zunächst einer begrifflichen Definition und der Unterscheidung zweier Begriffe, die im alltäglichen Sprachgebrauch zumeist synonymisch gebraucht werden. Die Rede ist von Video- und Computerspiel. Denn *Pong* ist zwar qua spieltheoretischer Definition ein Spiel¹, doch wird zur Generierung des Spiels weder ein Mikroprozessor noch eine Art von Software verwendet – was der Begriff des Computerspiels implizieren würde. Vielmehr basiert *Pong* auf einer cleveren Verschaltung diskreter Chips und ist somit in der Summe rein hardwarebasiert. Bereits hieraus lässt sich der Schluss ziehen, dass *Pong* kein Computerspiel im eigentlichen Sinne ist. Im Umkehrschluss hieße dies, dass es sich bei *Pong* um ein Videospiel handelt. Was aber definiert den Unterschied? Im Folgenden wird also zunächst versucht, die Begriffe Video- und Computerspiel zu entwirren und Unterschiede zu konkretisieren, um im Anschluss die nachstehende Klassifizierung zu stützen, denn: *Pong* ist ein Videospiel.

Um eine spezifische Abgrenzung der beiden Begriffe und so eine für diese Hausarbeit sinnvolle Arbeitsdefinition zu erarbeiten, ist ein Blick auf den technischen Unterbau solcher frühen digitalen Spiele erforderlich. Der Unterschied wird dann im Hinblick auf die technische Umsetzung der Spiel-, genauer der Bildgenerierung ersichtlich. Und so ließe sich an dieser Stelle vorab behaupten, dass ein Computerspiel ein Videospiel sein kann, ein klassisches Videospiel jedoch nicht zwangsläufig ein Computerspiel ist.

Ein digitales Computerspiel basiert auf einem programmierten Softwarecode, der durch entsprechende Hardware, wie einem (Mikro-) Prozessor, verarbeitet wird, um dann auf einem Ausgabegerät dargestellt zu werden. Entscheidend ist hier also das Zusammenspiel aus Soft- und Hardware. Als eines der frühesten Computerspiele ist an dieser Stelle *Spacewar!* zu nennen, das von Studenten am MIT Anfang der 1960er auf dem PDP-1 entwickelt wurde.² Ein Videospiel hingegen fußt in seiner Ursprünglichkeit auf einer reinen Hardwareschaltung, die im Zusammenspiel ihrer Teile und der zeitlichen Synchronisation mit einem Fernseher ein interaktives

¹ Vgl. Huizinga, Johan: *Homo Ludens. Vom Ursprung der Kultur im Spiel*. 123.-125 Tsd., Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 1997, S. 37.

² Vgl. Lange, Andres: *pong.mythos. Ein Ball und zwei Schläger. Ein Spiel und seine Folgen*. Berlin: Computerspiele Museum 2006, S. 60 f.

Videosignal generiert – beispielhaft ist hier das Videospiel *Computer Space* zu erwähnen, welches im Grunde eine vereinfachte Hardware-Implementierung der Spielmechaniken von *Spacewar!* war.³ Wichtig hierfür ist das Wechselspiel zwischen der logischen Verschaltung diskreter Chips und der Funktionsweise eines Röhrenfernsehers. Denn der Bildaufbau durch eine Kathodenstrahlröhre bedingt die inhärenten Zeitlichkeiten solcher Videospieldautomaten und rahmt sozusagen das (zeitliche) Spielgeschehen.⁴

A video game is defined as an apparatus that displays games using RASTER VIDEO equipment: a television set, a monitor, etc. In the 1950s and 1960s, computers were not only exceedingly expensive, but used a technology that could not allow integrating them into a video game system. Only mainframes could allow playing a few games. These games qualified as COMPUTER games, not VIDEO games.⁵

Pong ist ein ebensolches Videospiel, denn statt eines Programmcodes nutzt *Pong* eine logische Verschaltung von 66 diskreten Chips (Abb. 1), die in Summe vollständig Grafik, Sound und Spielsteuerung erzeugen. Benutzt wurden hierfür Chips der TTL-Baureihe, wobei jedes Bauteil – verwendet wurden unter anderem NAND-Gates, Flip-Flops und Timer – eine spezifische Funktion innehatte und in der Verkettung das Spiel *Pong* generierten.

Um im weiteren Verlauf dieser Ausarbeitung die Logik hinter den Sounds von *Pong* zu verstehen, ist diese Unterscheidung wichtig, da die Sounds nicht programmiert oder als Samples in einem Speicher hinterlegt sind, sondern quasi in Echtzeit durch Synchronisationsprozesse erzeugt werden.

Ping Pong

Pong ist ein digitales Tischtennispiel (engl.: ping-pong), verbaut in einem gelb-braunen Gehäuse. Das Spielprinzip ist einfach und in seiner Darstellung auf das Wesentliche simplifiziert. Das Spielfeld wird in einer Draufsicht auf einem 11 Zoll großen schwarz-weiß Fernseher dargestellt und ist in der Mitte durch die virtuelle Repräsentation eines Netzes geteilt. Links und rechts am Spielfeldrand befinden sich

3 Vgl. Lowood, Henry: Videogames in Computer Space. The Complex History of Pong. In: *IEEE Annals of the History of Computing* (2009), S. 9 ff.

4 Aus Platzgründen wird die Funktionsweise in den folgenden Kapiteln nur angeschnitten. Eine detaillierte Beschreibung des Bildaufbaus und der Verarbeitung von Signalen findet sich unter: <https://www.youtube.com/watch?v=l7rce6IQDWs&t=1061s> (Stand 29.10.2019).

5 Winter, David: Welcome to Pong-Story. Introduction. In: <http://www.pong-story.com/intro.htm> (Stand:29.10.2019).

zwei Balken, die als Schläger (paddle) funktionieren und von den Spielern⁶ auf einer vertikalen Achse über Drehknöpfe am Automatengehäuse gesteuert werden. Ein viereckiger kleiner Punkt fungiert als Ball und bewegt sich über die gegebene Fläche des Bildschirms. Verfehlt man den Ball mit seinem Schläger, so erhält der Gegenspieler einen Punkt. Am oberen Bildschirmrand wird dann der jeweilige aktuelle Punktestand angezeigt. Die einzige Regel: „Avoid missing ball for high score.“⁷

Aber *Pong* ist nicht nur ein rein visuelles Erlebnis. Zur Ausgabe des Videospieles gehört ein auditiv erfahrbarer Outputkanal. *Pong* macht Geräusche. Und diese Geräusche sind nicht die operativen Klänge der Hardware des Automaten selbst, sondern spielimmanente Sounds, die erst im und aus dem Prozess des Spielens entstehen. *Pong* gibt den Spielenden ein hörbares Feedback über das Spielgeschehen – erstmals in der sogenannten Geschichte der Video- und Computerspiele gab es so etwas wie „Spieldmusik“. Drei Sounds kann der Automat dabei ausgeben: Der Schläger trifft den Ball (ping), der Ball trifft den oberen oder unteren Bildschirmrand (pong), ein Spieler verfehlt den Ball (miss). Dabei handelt es sich im Grunde nur um zwei verschiedene Frequenzen, wobei die eine, gespielt als längerer Impuls (burst), gleich zwei Funktionen erfüllt. Eine Frequenzanalyse offenbart die Simplizität. Der ping Sound entspricht einer Frequenz von 491Hz und pong erklingt als 246Hz. Der Gewinner- bzw. Verlierersound wird über die zeitliche Verlängerung der Rechteckschwingung von 246Hz realisiert.

So einfach diese Klänge in ihrer Präsentation auch sein mögen, so genial ist letztlich ihre Integration in das Spiel. Sie eröffneten den Spielern so eine weitere Dimension des Spielgeschehens – ein erster Schritt in Richtung Immersion?

Auch aufgrund dieses Impacts ranken sich um die Sounds von *Pong* die unterschiedlichsten Mythen in Bezug auf deren Entstehungsgeschichte. Im folgenden Kapitel soll es also zunächst um die theoretische Spurensuche nach dem Ursprung der *Pong* Sounds gehen und sowohl die Geschichte als auch der Entwicklungsprozess des Spiels bis zu einem gewissen Grad skizziert werden. Im Anschluss daran wird der praktische Versuch eines Hardware-Reenactments unternommen.

An diesem Punkt sei erwähnt, dass die Geschichte von *Pong* eine sehr verstrickte ist. Zum einen könnte man *Pong* als ein Resultat der Emergenz seiner spielerischen

6 In dieser Arbeit wird aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit auf das Gendern verzichtet. Die hierbei verwendete Form des generischen Maskulinums in der Sprache steht allerdings stellvertretend für alle Formen innerhalb des binären Systems von Frau und Mann und schließt diese gedanklich mit ein.

7 Dies ist ein Auszug der Spielanweisung, die auf einem Emblem an der Gehäusefront des Automaten angebracht ist.

Vorläufer, wie *Spacewar!* oder *Computer Space*, betrachten. *Pong* wäre so retrospektiv die logische Verknüpfung unterschiedlicher Technologien, Mechaniken und der Simplifizierung vorangeschalteter wegweisender Ideen gewesen. Zum anderen kann man den Entwicklungsprozess des Spiels, im Zuge von Urheberrechtsverletzungen und bestrittenen Lizenzvereinbarungen, als ein virtuelles Plagiat ansehen und so eine historiografische Reflexion verfassen. Da dies aber nicht Thema dieser Ausarbeitung ist und den verfügbaren Rahmen um Weiten sprengen würde, sei dies nur am Rande vermerkt.

Der Ursprung der Sounds

Wie bereits in der Vorbetrachtung erwähnt, basiert das Spiel auf der logischen Verschaltung digitaler Chips. Das Mastermind hinter dem Aufbau (Abb. 2) ist Allan Alcorn, ein amerikanischer Elektroingenieur, der binnen einer dreimonatigen Bauphase einen voll funktionsfähigen Prototypen eines Spiels baute, das die Landschaft der virtuellen Spiele verändern sollte.

Der frisch eingestellte Alcorn wurde von Nolan Bushnell, einem der Mitbegründer von Atari, mit der Aufgabe versehen, ein möglichst einfaches Tischtennispiel mit wenigen und vor allem bezahlbaren Bauteilen, fernab von Computertechnologien, zu entwerfen. „The game should be very simple to play – ,one ball, two paddles, and a score Nothing else on the screen.“⁸ Versiert im Umgang mit TV- und Videotechnik gelang es ihm, einen Apparat zu bauen, mit dem es möglich war, ein Videosignal so zu manipulieren, dass man damit interaktiv Formen und Bewegungen auf einem Fernseher darstellen konnte. In der Idee ist es ganz ähnlich dem Grundprinzip, das Bushnell bereits bei *Computer Space* verwendete.

It was natural to consider how physical logic elements like flip-flops, counters, and registers could provide the synchronization signals needed to display graphical elements and scores, the creation of on-screen symbols, or execution of game logic. For example, a small number of diode arrays connected to logic gates produced the rotating images of rockets seen on the screen; the rocket images were clearly visible even in the pattern of diodes on one of the PC boards.⁹

Alcorn realisierte nicht nur geschickt die ihm gestellte Aufgabe, sondern, entgegen den Erwartungen von Bushnell, integrierte er clevere Spielmechaniken und erweiterte

8 Vgl. Kent, Steven L.: *The Ultimate History of Video Games. From Pong to Pokémon and Beyond The Story Behind the Craze That Touched Our Lives and Changed the World*. New York: Three Rivers Press 2001, S. 40.

9 Lowood (siehe Anm. 3), S. 12.

so den Spielfluss. Durch die Aufteilung der Schläger in acht einzelne Segmente konnte der Ball in Abhängigkeit davon, mit welchem der Segmente man ihn traf, in unterschiedlichen Winkeln zurückgeworfen werden. Ebenfalls ließ er das Spieltempo nach mehreren Ballwechseln ansteigen und implementierte durch die dynamisch ansteigende Schwierigkeit so ein weiteres Spannungselement.¹⁰

Der Arbeitsauftrag sah jedoch auch die Integration von Spielsounds vor. Und an diesem Punkt – so möchte ich behaupten – wurde es knifflig. Denn wie implementiert man dynamische spielinhärente Sounds, denen nach gestellter Arbeitsanweisung eine gewisse Komplexität innewohnt, wenn so etwas wie dedizierte Soundchips, wie der *POKEY*, erst in den 1980er aufkamen?¹¹ Alcorn jedoch fand hierfür eine äußerst geschickte Lösung. Alles was *Pong* an Sounds brauchte, war bereits in der Hardware versteckt und brauchte nur audifiziert werden.

Now the issue of sound ... People have talked about the sound and I've seen articles written about how intelligently the sound was done and how appropriate the sound was. The truth is, I was running out of parts on the board. Nolan wanted the roar of a crowd of thousands – the approving roar of cheering people when you made a point. Ted Dabney told me to make a boo and a hiss when you lost a point, because for every winner there's a loser.

I said, "Screw it, I don't know how to make any one of those sounds. I don't have enough parts anyhow." Since I had the wire wrapped on the scope, I poked around the sync generator to find an appropriate frequency or a tone. So those sounds were done in [a] half a day. They were the sounds that were already in the machine.¹²

Um zu verstehen, was Alcorn beim Experimentieren mit einem Oszilloskop fand und letztlich als die bekannten ping-pong Sounds in das Spielgeschehen einbettete, müssen zunächst der Bildaufbau und die Funktionsweise einer Kathodenstrahlröhre betrachtet werden. Denn die Sounds von *Pong* stehen in einer direkten Abhängigkeit zur grafischen Darstellung.¹³

Der Bildaufbau durch eine Kathodenstrahlröhre vollzieht sich seriell. Bei diesem Verfahren werden mittels einer Kathode in einer Vakuumröhre Elektronen erzeugt und durch elektrische Felder zu einem Strahl gebündelt, welcher durch magnetische Felder abgelenkt und letztlich zeilenweise über eine lichtempfindliche Schicht geführt wird. Diese Schicht wird dann in Abhängigkeit von der Stromstärke der auftreffenden

¹⁰ Vgl. Kent (siehe Anm. 8), S. 41.

¹¹ Vgl. Fritsch, Melanie: History of Video Game Music. In: *Music and Game. Perspectives on a Popular Alliance*, hrsg. von Moorman, Peter, Wiesbaden: Springer VS 2013, S. 13 f.

¹² Kent (siehe Anm. 8), S. 42.

¹³ Vgl. Höltgen, Stefan: Sound Bits. Computerarchäologische(s) Spiele(n) mit historischen Sound-Prozessoren. In: <http://www.paidia.de/computerarchaeologisches-spielen-mithistorischen-sound-prozessoren/> (Abrufdatum: 29.10.2019).

Elektronen unterschiedlich stark zum Leuchten angeregt.¹⁴ Der zeilenweise Bildaufbau durch diesen Elektronenstrahl beginnt in der oberen linken Ecke. Ist das Ende des Bildschirms erreicht und die Zeile vervollständigt, wird der Strahl abgeschaltet und an den Anfang der nächsten Zeile geführt. Hier vollzieht sich der Zeilenrücklauf, der im Englischen durch *Horizontal Blank* (HBLANK) beschrieben wird. Dieser Hergang wiederholt sich so lange, bis mit der vollendeten letzten Zeile das Bild vollständig dargestellt wird. Der Kathodenstrahl wird dann auch hier dunkelgetastet und in die linke obere Ecke zurückgeführt – würde der Strahl während dieser Rücklaufintervalle nicht abgeschaltet, würde hierbei eine klar erkennbare Rücklauflinie auf der lichtempfindlichen Schicht abgebildet. Dieser Bildrücklauf wird im Englischen durch *Vertical Blank* (VBLANK) determiniert.

Mit diesen Prozessen des Bildaufbaus muss ein Videospiel synchronisiert werden, da die Generierung eines interaktiven Videosignals andernfalls nicht möglich ist. Die horizontale und vertikale Synchronisation erfolgt hierbei über Impulsgeneratoren, die das System mit dem frequenziellen Rasteraufbau der Kathodenstrahlröhre über HBLANK und VBLANK gleichschalten. Diese zeitlichen Synchronisationsprozesse machte sich Alcorn für den Aufbau des Soundsystems zu Nutze (Abb.3). Qua audifizierte er die systeminhärenten Frequenzen bestimmter Zustände zu bestimmten Zeitpunkten, nämlich, wenn der Ball entweder mit einem der Paddle deckungsgleich ist oder er mit einem der beiden Rücklaufintervalle zusammenfällt – trifft der Ball also auf eine der räumlichen Begrenzungen des Bildschirms, wird über HBLANK oder VBLANK ein Ton getriggert.¹⁵

Bereits anhand dieser rudimentären Beschreibung der eigentlichen mikrozeitlichen Prozesse¹⁶ lässt sich der Umfang benötigter Kenntnisse im Bereich der Elektrotechnik ermessen. Da eine theoretische Auseinandersetzung mit dem Ursprung der Sounds von *Pong* in ihrer Komplexität eben dadurch ihre eigenen Limitationen zeitigt und die Nachvollziehbarkeit bei einer immer technischeren Betrachtung und Beschreibung der Vorgänge schwindet, empfiehlt sich eine praktische Herangehensweise in Form eines

¹⁴ Vgl. Schmidt, Ulrich: *Professionelle Videotechnik. Analoge und digitale Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, HDTV, Kameras, Displays, Videorecorder, Produktion und Studiotechnik*. Berlin, Heidelberg: Springer 2005, S. 16.

¹⁵ Vgl. Holden, Hugo R.: Atari Pong E Circuit Analysis & Lawn Tennis. Building A Digital Video Game With 74 Series TTL IC's. In: http://www.pong-story.com/LAWN_TENNIS.pdf (Abrufdatum: 01.10.2019).

¹⁶ Eine detaillierte Ausarbeitung der Hergänge lässt sich bei Holden (siehe Anm. 15) nachlesen. Ebenfalls ist die nachstehende Arbeit zu empfehlen: Edwards, Stephen A.: Reconstructing Pong on an FPGA. In: <http://www1.cs.columbia.edu/~sedwards/papers/edwards2012reconstructing.pdf> (Abrufdatum 02.10.2019).

(teilweisen) Nachbaus der Hardware, um so durch ein hands-on Projekt die Theorie greifbarer zu machen. Das nun folgende Kapitel ist die Beschreibung eines Praxisversuch.

Der Versuch eines Hardware-Reenactment

Der Bau eines Prototypen begann mit einer Analyse der schematischen Darstellung des Soundsystems von *Pong* (Abb. 3). Es galt nicht nur herauszufinden, welche Bauteile verwendet und wie diese miteinander verbunden sind, sondern auch der Frage nachzugehen, welche Funktionen diese im Einzelnen, sowohl in dem separierten Ausschnitt als auch im Gesamtzusammenhang des Schaltkreises erfüllen. Denn aus der theoretischen Betrachtung ging bereits hervor, dass die Sounds von *Pong* nicht als Samples in einem Speicher hinterlegt oder von einem Tongenerator ausgegeben werden, sondern erst in Echtzeit durch die Gleichschaltungsprozesse mit einem Röhrenfernsehr entstehen. Dies führte bereits in einer ersten Vorüberlegung zu den Möglichkeiten der Realisierung dieses Projekts, zu problematischen Hürden, denn wenn das Auditive erst dynamisch in Abhängigkeit des Visuellen entsteht, reicht es nicht, nur einen kleinen Auszug des Schaltkreises zu reproduzieren. Diese aus der Theorie gewonnenen Erkenntnisse bestätigten sich leider bei der Untersuchung der Schaltpläne.

Da ein vollständiger Hardwarenachbau der Platine von *Pong* jedoch sowohl den Rahmen dieser Arbeit als auch meine Fähigkeiten bei Weitem überschritten hätten, entschloss ich mich dennoch, zunächst den Sound-Schaltplan nachzubauen und so die Signalverarbeitung besser zu verstehen – von wo kommen die Signale und wie gestaltet sich der Signalfluss? – um dann einen Workaround für die Generierung der Inputfrequenzen zu finden, damit der Prototyp zumindest auf die eine oder andere Art und Weise die Sounds von *Pong* generiert.

Um möglichst flexibel zu bleiben, entschied ich mich, den Prototypen auf einem Steckbrett zu bauen, um so Änderungen einfach vornehmen und gegebenenfalls andere Schaltungen schnell ausprobieren zu können. Bis auf ein Bauteil waren alle benötigten ICs ohne Probleme erhältlich und schnell geliefert. Das fehlende 7410 dreifach NAND-Gate konnte mit etwas Recherche dennoch ausfindig gemacht, wurde mit etwas Verspätung geliefert und die ersten Verbindungen konnten gesteckt werden. Über einen Arduino wurde das Breadboard mit Strom versorgt und ein Piezo diente mir als Lautsprecher.

Im ersten Testlauf habe ich zunächst die Schaltung nach Plan nachgebaut und mir eine praxisnahe Übersicht über die Theorie erschlossen. Wie erwartet hat dieser Aufbau ohne entsprechenden Input keinen Output generieren können. Dennoch war es hilfreich, die schematische Darstellung als Hardware in den Händen zu halten und dadurch die internen Prozesse etwas zu entwirren. Überraschenderweise kristallisierte sich bereits hier heraus, welche Bauteile in ihrer Funktion ersetzt werden können und was gänzlich neu hinzugefügt werden muss.

Werfen wir zunächst einen Blick auf den ping- und den pong-Sound (in Abb. 2 als *TOPBOTHITSOUND* und *HIT SOUND* erkennbar). Das NAND-Gate *C3* (siehe Abb. 1) wird konstant mit dem Input des vertikalen Synchronisationstimers gefüttert, gibt jedoch kein Outputsignal aus. Für den frequenziellen Input sind zum einen das sechste und zum anderen das fünfte Bit im vertikalen Counter verantwortlich (*VPOS32* & *VPOS16*), welche durch stetiges Flippen jeweils eine Rechteckwelle in der entsprechenden Frequenz – in diesem Fall 491Hz und 246Hz¹⁷ – erzeugen. Die vorangeschalteten Flip-Flops dienen in diesem Aufbau lediglich als (quasi) Türöffner und geben den jeweiligen Output im NAND-Gate frei und wir hören den dazugehörigen Ton. Da diese Flip-Flops ihr Signal durch die Position des Balles (z.B. *VBLANK*) erhalten, ich in meinem Aufbau dieses Signal jedoch nicht generieren konnte, war die Überlegung, diese auszutauschen und durch einen einfachen Druckknopf zu ersetzen – als quasi analogen Türöffner, den man selbst bedient. Ebenfalls musste für den frequenziellen Input durch den Synchronisationstimer eine Alternative gefunden werden. Die Wahl fiel auf die Integrierung zweier kleiner Oszillatoren, die die entsprechenden Frequenzen generieren. Diese sollten durch zwei 555 Timer realisiert werden. Durch den Austausch der Flip-Flops und das Hinzufügen zweier autonomer Frequenzgeber würde der Prototyp dann zumindest per Knopfdruck die Sounds von *Pong* ausgeben – damit stand die erste theoretische Skizze für den Nachbau.

Im Hinblick auf den 555 Timer, der für die Ausgabe des Gewinner- bzw. Verlierersounds (miss) zuständig ist (in Abb. 1 als *G4* zu sehen), ergaben sich an diesem Punkt deutlich weniger Probleme. Der Aufbau konnte prinzipiell fast der Entsprechung des Schaltplans nachempfunden werden. Lediglich der Input musste auch hier mit einem Button neu konfiguriert werden, da der Input des Timers getriggert wird, sobald die Werte und somit die Position des Balls mit *HBLANK*

¹⁷ Vgl. Holden (siehe Anm. 15).

zusammenfallen. Dabei verlängert er die Ausgabe der Frequenz durch das NAND-Gate um den Faktor X, der sich hier aus der Verschaltung eines Kondensators mit einem Widerstand ergibt und bei *Pong* 240ms beträgt. Das NAND-Gate wird dabei in dem originalen Schaltkreis ebenfalls durch den Counter der vertikalen Synchronisation (hier VPOS32) gefüttert und entspricht damit in der Frequenz dem Abpraller vom oberen oder unteren Bildschirmrand (pong). Hier müsste das entsprechende Signal also ebenfalls durch einen der beiden Oszillatoren eingespeist werden.

Zunächst entfernte ich also die Flip-Flops vom Steckbrett, ersetzte diese durch einfache Druckknöpfe und ergänzte einen weiteren, um auch für den Timer *G4* einen Input generieren zu können. Zwei weitere 555 Timer wurden dann auf das Board gesteckt und zu Oszillatoren umgemünzt. Durch die Verwendung von Widerständen kann dann hier der Output moduliert und die Ausgabefrequenz verändert werden (siehe Abb. 4 & 5). In der Theorie sollten diese beiden Timer dann die Sounds von *Pong* generieren und diese per Knopfdruck über den Piezo ausgegeben werden.

Nachdem alle Bauteile nach neuer Überlegung gesteckt und miteinander verbunden waren, konnte ich mich dem Output der beiden Oszillatoren widmen. Hierfür habe ich die Formel für die Berechnung des Widerstandes R_2 umgestellt und für die Frequenzen 491Hz und 246Hz Berechnungen durchgeführt. Um am Output annähernd die 491Hz des einen Timers zu erreichen, konnte ich über einen 10k Ω Widerstand eine Frequenz von 500Hz erzeugen. Auch nach mehreren Versuchen unter Verwendung anderer Widerstandswerte blieb dies der dichteste Näherungswert. Der Prototyp gib nun also mit einer minimalen Abweichung von 9Hz per Knopfdruck den ping Sound (Paddle trifft Ball) aus.

Um mittels des zweiten Oszillators eine Frequenz von 246Hz per Knopfdruck hören zu können, konnte ich über einen 20k Ω Widerstand eine Näherungsfrequenz von 250Hz erzeugen. Der Aufbau generiert nun also mit geringer Abweichung die bekannten ping-pong Sounds. Einzig den miss Sound galt es noch zu induzieren. Da der 555 Timer für die zeitliche Verlängerung des Signals nach Schaltplan bereits aufgesetzt war, bedurfte es nur noch einer Brücke, die vom Input des pong Sounds am NAND-Gate auf den Input des miss Impulses gezogen wird. Der dazugehörige Button löste im Anschluss den entsprechenden Burst der 246Hz über die Dauer von 240ms aus.

Unter Zuhilfenahme eines Oszilloskops konnten die am Output ausgegebenen Frequenzen überprüft werden. Der Workaround hat funktioniert und der Prototyp war damit nun in der Lage, unabhängig von angeschlossener Peripherie und dem

restlichen Schaltkreis innerhalb einer kleinen Toleranzgrenze die drei Sounds von *Pong* per Knopfdruck auszugeben. Der Versuch eines Hardware-Reenactments ist damit, unter Berücksichtigung der bereits angesprochenen Limitationen und Grenzen hinsichtlich der Durchführbarkeit, geglückt – „die“ auditive Dimension von *Pong* ist damit sozusagen per Knopfdruck erfahrbar.

Auswertung

Pong ist ein beeindruckendes Spiel. Dies haben nicht nur die historiografische Auseinandersetzung mit der Geschichte von *Pong* oder die theoretische Betrachtung der Schaltpläne gezeigt, sondern eben gerade durch den Versuch eines Hardware-Reenactments konnte die Komplexität der technischen Leistung hinter *Pong* eruiert und in ein für mich verständlicheres Konstrukt gekleidet werden. Auf der Suche nach dem Ursprung, der quasi ersten Implementierung von impliziter Computerspielmusik, zeitigte sich die Vielschichtigkeit der Prozesse, die vor allem eben zeitlicher Natur sind. Denn die notwendige Synchronisation von Hardwarebausteinen auf einen gemeinsamen Takt und die daraus resultierende Gleichschaltung von auditiver und visueller Sinneswahrnehmung sind an systemimmanente Zeitlichkeiten gebunden – *Pong* spielt sozusagen mit den Begriffen von Jetzt- und Echtzeit.

Die Ausarbeitung dieser Hausarbeit und im Besonderen die praktische Herangehensweise an das Medium Videospiele hinsichtlich der Entstehung der Sounds von *Pong* haben mir gezeigt, dass ein Blick auf den technischen Unterbau und das Experimentieren mit Hardware bis hin zum Nachbau eines eigenständigen Prototypen ein tieferes Verständnis für die Prozesse in einem solchen Spiel fasslicher werden lassen. Spiele wie *Pong* eignen sich dabei für solche Betrachtungen explizit, da sie auf Hardwareebene noch ohne immense Fachkenntnisse verständlich sind und auch für Laien einen potenziellen Zugang bieten – gleiches gilt derweil auch für einfache softwarebasierte Spiele. Als Produkt der erlangten Erkenntnisse lässt sich das Ergebnis dieser Arbeit im Folgenden zusammenfassen.

Pong ist ein hardwarebasiertes Videospiele. Und der Spielautomat, als eben dieser Archetypus begriffen, funktioniert nur in der Summe seiner Teile. *Pong* vollzieht sich nur im Wechselspiel seiner logisch verschalteten Elemente. Separiert man einzelne Segmente des Spiels, so kann man zwar Logikketten auf ihre spezifischen Eigenarten untersuchen, aber Gegenstand dieser Untersuchung wäre nicht mehr *Pong*. So mag es

hilfreich erscheinen, den Automaten in seine Einzelteile zu entzweien und bestimmte Gruppen im Detail zu examinieren oder besser noch - wie in diesem Fall - direkt nachzubauen. Dadurch ergeben sich zwar zum einen transparentere Einblicke in die Theorie und Zusammenhänge lassen sich hands-on schließen, zum anderen steht so ein Nachbau jedoch immer exklusiv für sich selbst und separiert sich so eigenständig vom eigentlichen Untersuchungsgegenstand.

Dennoch hat diese Arbeit zielgerichtet zur Beantwortung der einleitenden Fragestellung geführt, den Ursprung der Sounds im Wesentlichen aufgedeckt und die Besonderheit eben dieser als Hardware-Reenactment manifestiert.

Abb. 3: Diese Darstellung zeigt den Abschnitt der Soundgenerierung. Erkennbar sind hier die verwendeten Logikbauteile und ihre Verschaltung.

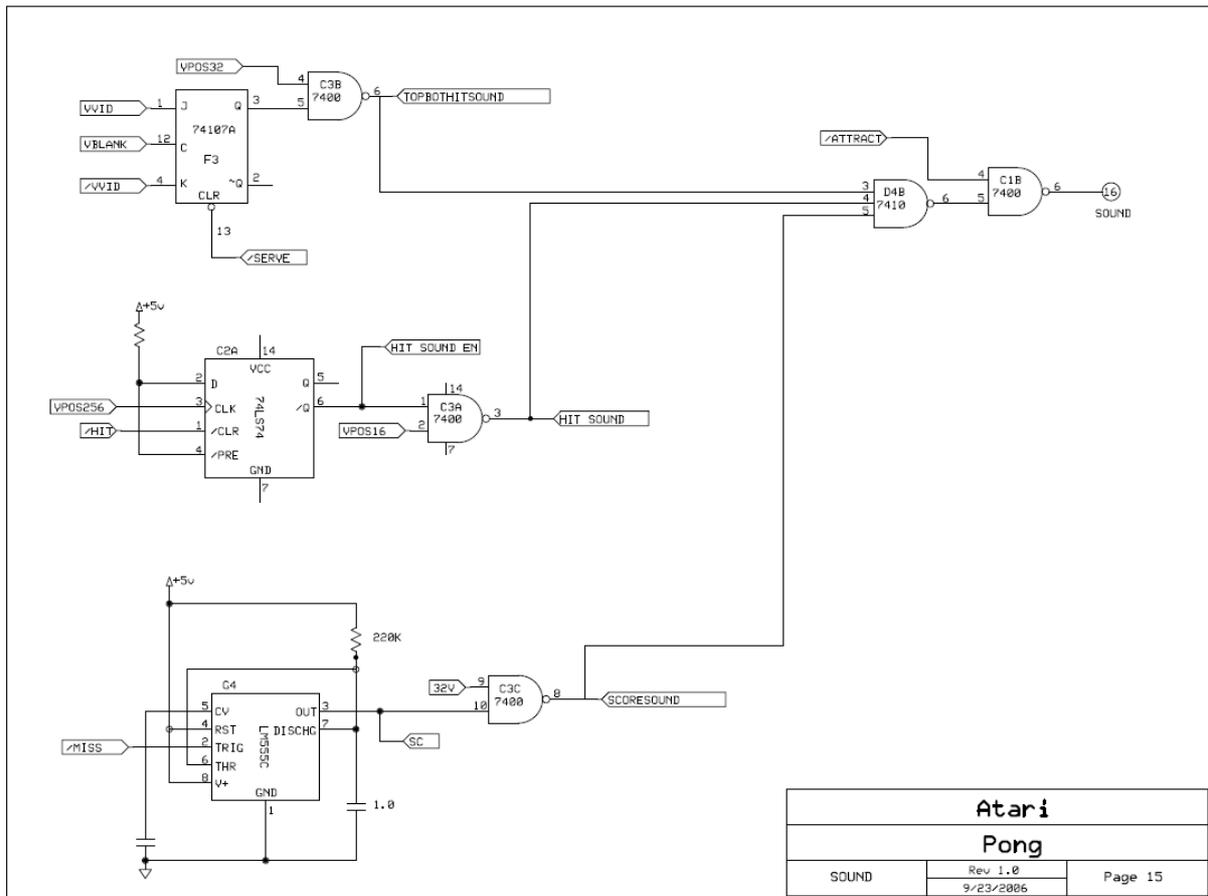


Abb. 4: Diese Schaltung macht aus einem 555 Timer einen Oszillator, der eine Rechteckschwingung generiert. Die Ausgabefrequenz entsteht dabei in Abhängigkeit des verwendeten Widerstandes R2.

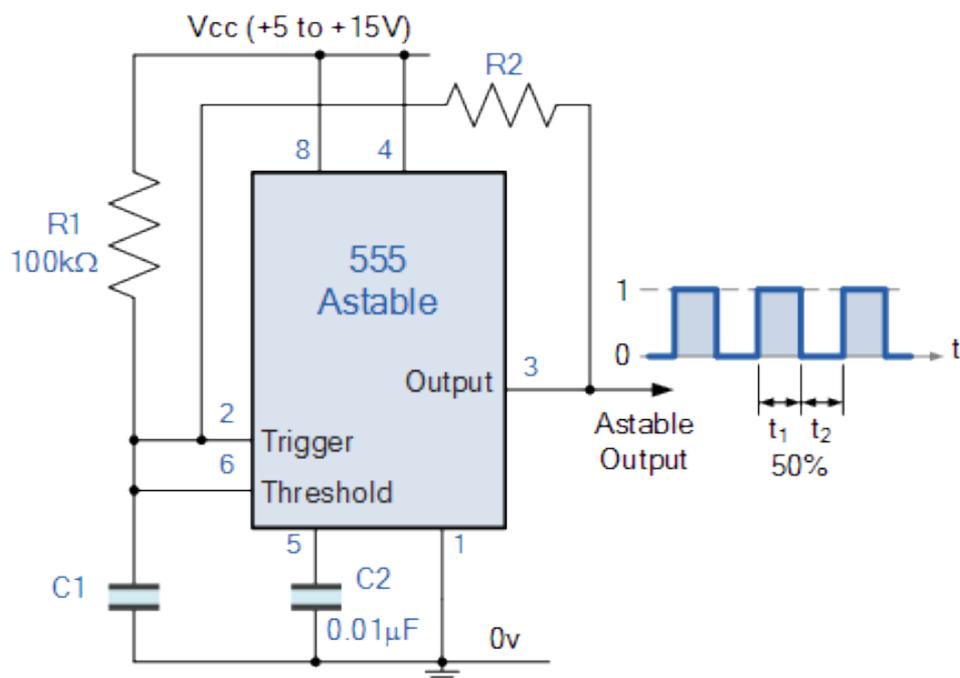


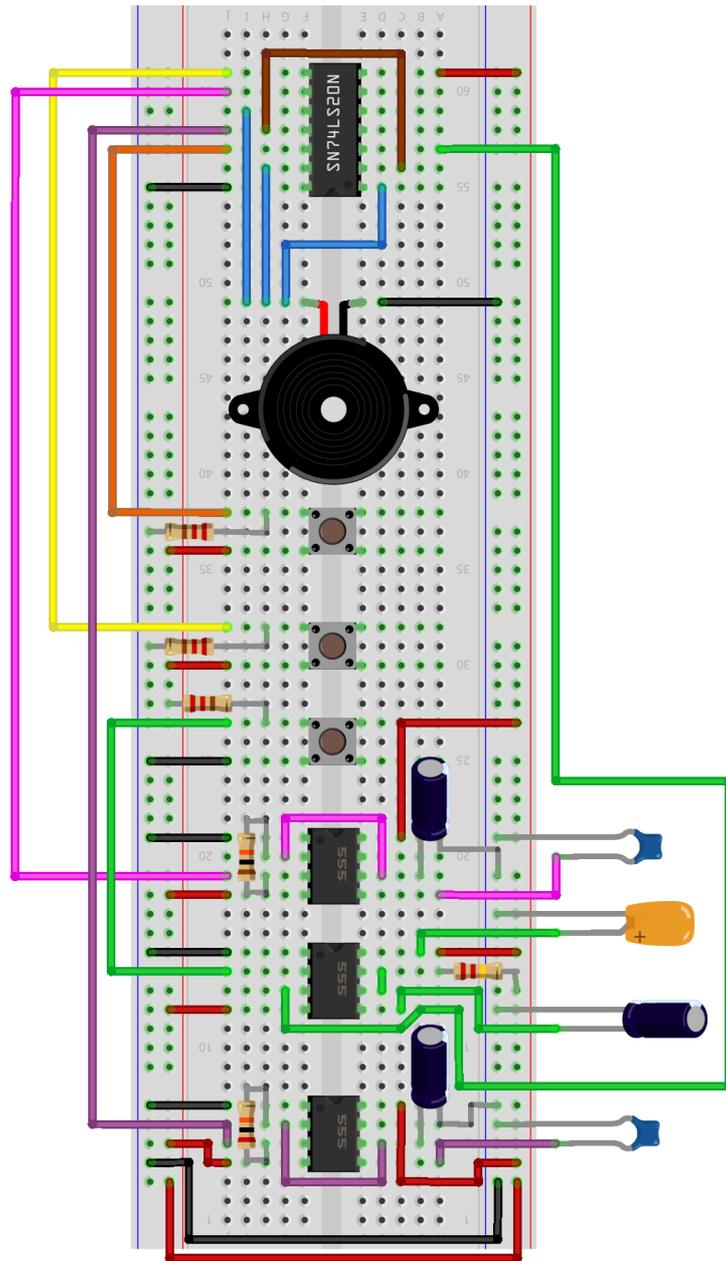
Abb. 5: Über das Umstellen dieser Formel lassen sich die benötigten Widerstände (R_2) für die Generierung spezifischer Frequenzen errechnen.

$$f = \frac{1}{0.693(2R_2).C} \text{ Hz}$$

Der Prototyp

Im Folgenden finden sich ergänzende Abbildungen, die den Prototypen in seinem Aufbau dokumentieren und einen Ausgangspunkt für einen eventuellen Nachbau bilden.

Diese Abbildung zeigt eine schematische Darstellung des Steckbretts.

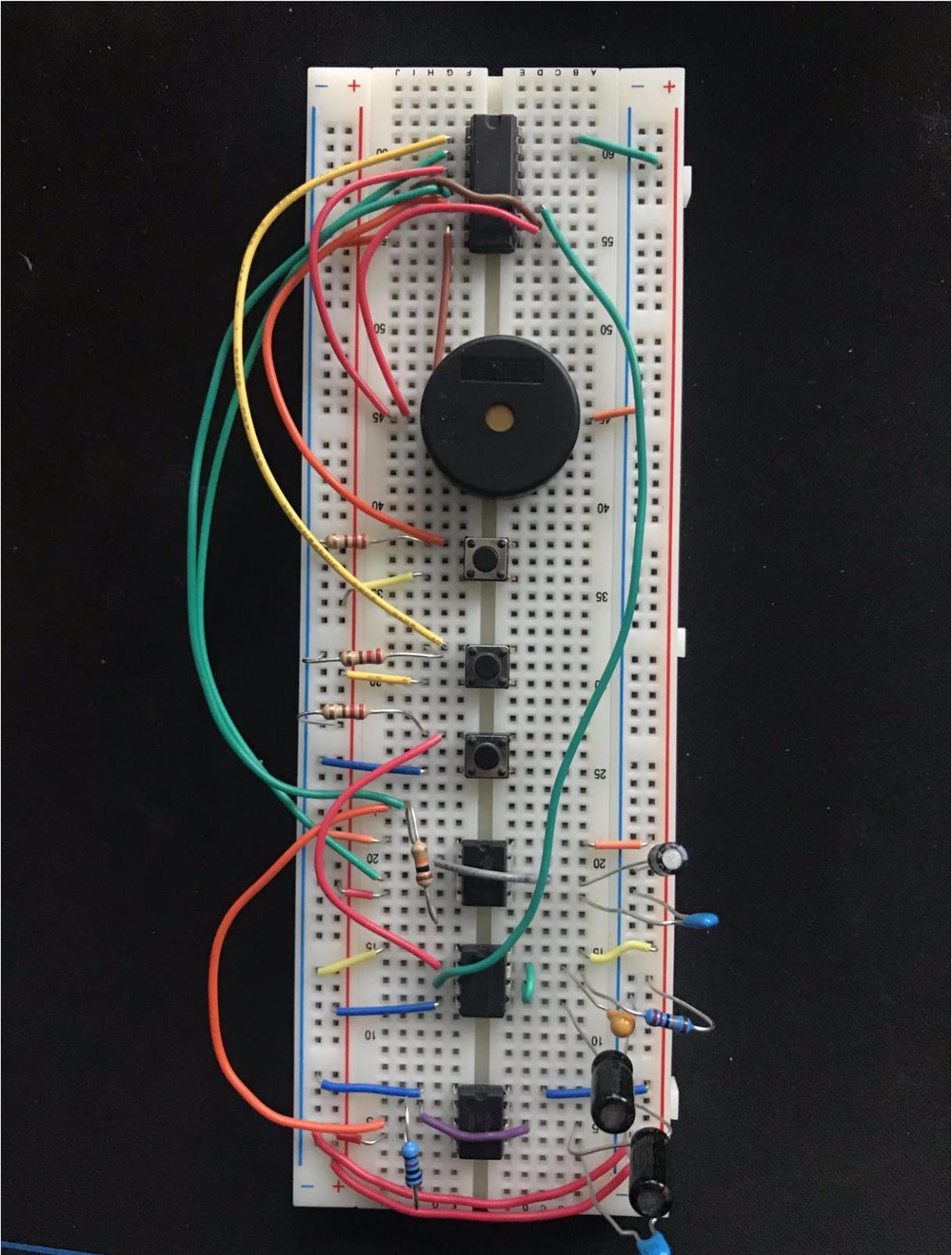


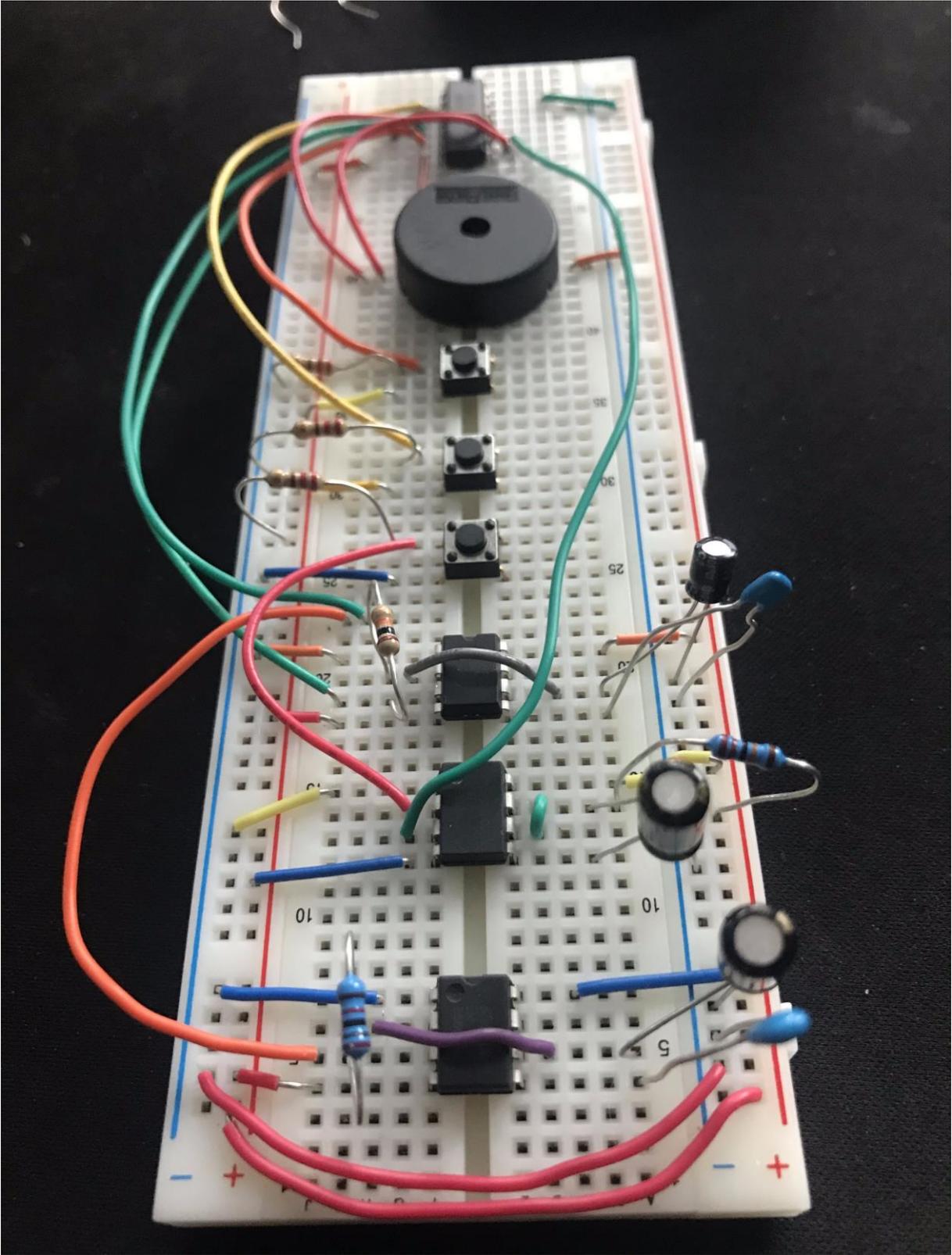
fritzing

Die folgende Liste ist eine Aufstellung der verwendeten Teile.

Amount	Part Type	Properties
2	Ceramic Capacitor	Paket 0805 [SMD, multilayer]; Spannung 6.3V; Kapazität 0.01 μ F
1	Electrolytic Capacitor	Paket 0605 [SMD, electrolytic]; Spannung 6.3V; Kapazität 10nF
1	Electrolytic Capacitor	Paket 100 mil [THT, electrolytic]; Spannung 6.3V; Kapazität 100nF
1	Tantalum Capacitor	Paket 100 mil [THT, tantalum]; Spannung 6.3V; Kapazität 1 μ F
1	Electrolytic Capacitor	Paket 100 mil [THT, electrolytic]; Spannung 6.3V; Kapazität 10nF
1	Piezo Speaker	
1	220 Ω Resistor	Widerstand 220 Ω ; Toleranz \pm 5%; Paket 0603 [SMD]
1	220 Ω Resistor	Widerstand 220 Ω ; Toleranz \pm 5%; Paket THT; Beinchenabstand 400 mil; bands 4
1	220k Ω Resistor	Widerstand 220k Ω ; Toleranz \pm 5%; Paket 2512 [SMD]
1	20k Ω Resistor	Widerstand 20k Ω ; Toleranz \pm 5%; Paket 0402 [SMD]
1	10k Ω Resistor	Widerstand 10k Ω ; Toleranz \pm 5%; Paket 0402 [SMD]
1	220 Ω Resistor	Widerstand 220 Ω ; Toleranz \pm 5%; Paket 0805 [SMD]
3	Momentary Switch	Variante ksa_sealed; Paket ksa_sealed_tac_switch
3	555 Timer	Paket DIP8 [THT]
1	SN74LS20N	Typ SN74LS20N; Paket DIP14 [THT]

Die nachstehenden Bilder zeigen den fertigen Prototypen.





Literaturverzeichnis

- Berlin, Leslie: The Inside Story of Pong and the Early Days of Atari. In: <https://www.wired.com/story/inside-story-of-pong-excerpt/> (Abrufdatum: 18.10.2019).
- Dillon, Roberto: *The Golden Age of Video Games. The Birth of a Multi-Billion Dollar Industry*. Boca Raton: CRC Press 2011, S. 8–20.
- Edwards, Stephen A.: Reconstructing Pong on an FPGA. In: <http://www1.cs.columbia.edu/~sedwards/papers/edwards2012reconstructing.pdf> (Abrufdatum 02.10.2019).
- Fritsch, Melanie: History of Video Game Music. In: *Music and Game. Perspectives on a Popular Alliance*, hrgs. von Moorman, Peter, Wiesbaden: Springer VS 2013, S. 11–40.
- Holden, Hugo R.: Atari Pong E Circuit Analysis & Lawn Tennis. Building A Digital Video Game With 74 Series TTL IC's. In: http://www.pong-story.com/LAWN_TENNIS.pdf (Abrufdatum: 01.10.2019).
- Höltgen, Stefan: Sound Bits. Computerarchäologische(s) Spiele(n) mit historischen Sound-Prozessoren. In: <http://www.paidia.de/computerarchaeologisches-spielen-mit-historischen-sound-prozessoren/> (Abrufdatum: 29.10.2019).
- Huizinga, Johan: *Homo Ludens. Vom Ursprung der Kultur im Spiel*. 123.-125 Tsd., Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 1997.
- Kent, Steven L.: *The Ultimate History of Video Games. From Pong to Pokémon and Beyond—The Story Behind the Craze That Touched Our Lives and Changed the World*. New York: Three Rivers Press 2001, S. 27–92.
- Lange, Andres: *pong.mythos. Ein Ball und zwei Schläger. Ein Spiel und seine Folgen*. Berlin: Computerspiele Museum 2006, S. 59–70.
- Langhorst, Tom: The Unanswered Question of Musical Meaning. A Cross-domain Approach. In: *The Oxford Handbook of Interactive Audio*. hrgs von Collins, Karen; Kapralos, Bill; Tessler, Holly, New York et. al.: Oxford University Press 2014, S. 95–116.
- Lowood, Henry: Videogames in Computer Space. The Complex History of Pong. In: *IEEE Annals of the History of Computing* (2009), S. 5–19.
- Newman, Michael Z.: *Atari Age. The Emergence of Video Games in America*. Cambridge: MIT 2017.
- Schmidt, Ulrich: *Professionelle Videotechnik. Analoge und digitale Grundlagen, Filmtechnik, Fernsehtechnik, HDTV, Kameras, Displays, Videorecorder, Produktion und Studiotechnik*. Berlin, Heidelberg: Springer 2005, S. 1–88.

Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Holden, Hugo R.: Atari Pong E Circuit Analysis & Lawn Tennis. Building A Digital Video Game With 74 Series TTL IC's. In: http://www.pong-story.com/LAWN_TENNIS.pdf (Abrufdatum: 01.10.2019).
- Abb. 2: Schematic Pong, In: <https://i.imgur.com/D1ORa.jpg> (Abrufdatum 02.10.2019).
- Abb. 3: Pong Schematic,
In: <http://www.atarihq.com/danb/files/PongSchematic.pdf> (Abrufdatum: 02.10.2019).
- Abb. 4: 50% Duty Cycle Astable Oscillator, In: https://www.electronicstutorials.ws/waveforms/555_oscillator.html (Abrufdatum: 25.10.2019).
- Abb. 5: 50% Duty Cycle Frequency Equation, In: https://www.electronicstutorials.ws/waveforms/555_oscillator.html (Abrufdatum: 25.10.2019).

Ludografie

Computer Space (US 1971, Atari)

Pong (US 1972, Atari)

Spacewar! (US 1962, Steve Russel)