



TECHNISCHE HOCHSCHULE NÜRNBERG
GEORG SIMON OHM

Fakultät Elektrotechnik Feinwerktechnik Informationstechnik

Entwicklung eines modularen Synthesizers

Projektarbeit im MSY

vorgelegt von

Altaher Ahmad, Balbach Thomas, Dilman Viktor, Kirschner Christoph,
Sedlmeier Toni

Ausgabe: 18.10.2022

Abgabe: –

Prüfer: Prof. Dr.Alexander von Hoffmann

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Konzepte	2
2.1	Zielsetzung	2
2.2	Aufbau eines modularen Synthesizers	2
2.3	Grundlegende analoge Prinzipien	4
3	Netzteil	5
3.1	Allgemeines	5
3.2	Schaltplan	5
3.3	Umsetzung	5
4	LFO	6
4.1	Allgemeines	6
4.2	Schaltplan	6
4.3	Platine	6
4.4	Mechanischer Aufbau	6
5	VCO	7
5.1	Allgemeines	7
5.2	Schaltplan	9
5.3	Platine	13
5.4	Mechanischer Aufbau	16
6	Sequenzer	17
6.1	Allgemeines	17
6.2	Schaltplan	17
6.3	Platine	20
6.4	Mechanischer Aufbau	20
7	Filter	21
7.1	Allgemeines	21
7.2	Schaltplan	21
7.3	Platine	21
7.4	Mechanischer Aufbau	21
8	Mischer	22
8.1	Allgemeines	22
8.2	Schaltplan	22
8.3	Platine	22
8.4	Mechanischer Aufbau	22

9	Gehauese	23
9.1	Allgemeines	23
9.2	Mechanischer Aufbau	23
10	Fazit	24
	Auflistungsverzeichnis	25
	Literatur	26

Kapitel 1

Einleitung

Die Welt der Elektrotechnik ist mehr denn je im Umbruch und Wandel. Um für diese Herausforderungen gerüstet zu sein, ist es fundamental mit den Grundlagen dieses breitgefächerten Themengebietes bestens vertraut zu sein. Besonders im Bereich der analogen Schaltungstechnik ist es jedoch oft schwierig ein tieferes Verständnis für Vorgänge in komplexen Aufbauten zu erlangen. Die Mathematik bietet zwar meist sehr akkurate Mittel, um eine Schaltung ausreichend zu beschreiben, oft reicht dies jedoch für Anfänger nicht aus, um das Verhalten greifbar zu machen. Abhilfe kann hier die Visualisierung oder Simulation der entsprechenden Spannungsverläufe schaffen. Neben der visuellen Analyse kann jedoch auch der Klang von Signalverläufen tieferes Verständnis aufbauen. Durch die Durchführung dieser Projektarbeit soll besonders dieser Aspekt vertieft werden und somit der Wissensstand bezüglich analoger Schaltungstechnik im Allgemeinen ausgebaut werden. Darüber hinaus soll Elektrotechnik durch die elektronische Klangerzeugung für Außenstehende besser erfahrbar gemacht werden.

Kapitel 2

Konzepte

2.1 Zielsetzung

Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, dient diese Projektarbeit zur Wissenserweiterung im Bereich der analogen Schaltungstechnik. Darüber hinaus soll im Zuge dieser Arbeit ein einsetzbarer modularer Synthesizer gebaut werden, der zu elektronischen Klangerzeugung genutzt werden kann. Der Synthesizer soll aus verschiedenen Modulen bestehen, welche unabhängig von einander genutzt werden können. Der weitere Aufbau wird in Abschnitt 2.2 genauer beschrieben. Darüber hinaus werden in Abschnitt 2.3 grundlegende Prinzipien erläutert, die insbesondere bei der elektronischen Klangerzeugung Anwendung finden.

2.2 Aufbau eines modularen Synthesizers

Wie bereits in Abschnitt 2.1 erläutert, besteht ein modularer Synthesizer aus mehreren vereinzelt Modulen. Diese Module können mit Kabeln verbunden und somit in Interaktion miteinander gebracht werden.

Um eine grundlegende Funktion zu ermöglichen, ist ein Basisumfang an Modulen nötig. Die hierfür nötigen Komponenten oder Module werden im Folgenden aufgelistet und kurz erläutert.

- **Netzteil:**
Das Netzteil ist elementarer Bestandteil des Synthesizers und stellt die benötigten Spannungslevel zur Versorgung der einzelnen Module bereit. Insbesondere für den Einsatz von Operationsverstärkern ist es nötig symmetrische Spannungsversorgungen bereit zu stellen.
- **LFO:**
Ein LFO ("Low Frequency Oscillator") wird genutzt, um niederfrequente Signale zu erzeugen. Typischerweise wird dieses Modul genutzt, um andere Module anzusteuern.
- **VCO:**
Der VCO ist ein spannungsgesteuerter Oszillator und stellt die Basis bei analogen Synthesizern dar. Über eine Steuerspannung kann die Frequenz des erzeugten Signals und somit die Tonhöhe verändert werden. Verbreitete Signale zur elektronischen Tonerzeugung stellen das Sägezahn- und das Rechtecksignal dar.

- Sequenzers:

Der Sequenzer erzeugt seriell alternierende Spannungsfolgen, die durch verschiedene Kipp-schalter und Potentiometer sowohl die einzelnen Spannungspegel als auch die gesamte Geschwindigkeit des Signals variieren. In der Regel werden die Ausgangssignale des Sequenzers zur Ansteuerung weiterer Module – den sogenannten Spannungsgesteuerten-Modulen – hergenommen. Neben den Oszillatoren bildet der Sequenzer somit die Basis der Synthesizer-Module.

- Filter

- Mischer

- Gehäuse :

Um den Synthesizer gut bedienen zu können und um die enthaltenen Komponenten vor schädlichen Einflüssen zu Schützen ist es sinnvoll, die Module in einem Gehäuse zu verbauen. Dieses besteht üblicherweise aus zwei Schienen mit Anschraubmöglichkeiten, auf welchen die Frontplatten der einzelnen Module geschraubt werden können.

Um den groben Aufbau und die dahinter liegende Struktur zu verdeutlichen, ist in Abbildung xxx die grobe Produktarchitektur aufgezeigt.

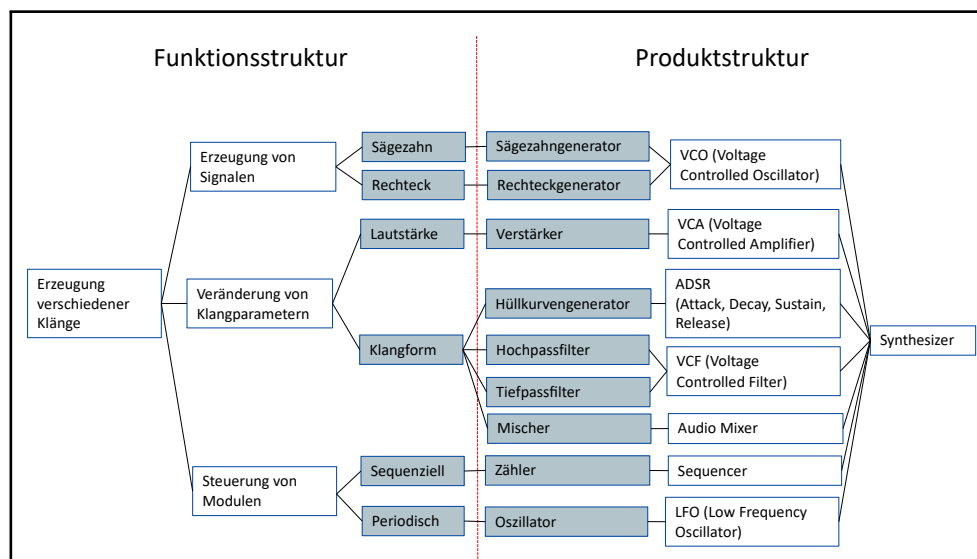


Abbildung 2.1: Produktarchitektur des modularen Synthesizers

2.3 Grundlegende analoge Prinzipien

Exkurs zum Thema Ton/Klang Grundton, Obertöne etc.!

Kapitel 3

Netzteil

3.1 Allgemeines

3.2 Schaltplan

bla bla bla

3.3 Umsetzung

bla bla bla

Kapitel 4

LFO

4.1 Allgemeines

Wie bereits in Kapitel beschrieben, wird der LFO genutzt, um niederfrequente Signale zu erzeugen. Diese Signale werden typischerweise zur Steuerung von nachgelagerten Modulen, wie etwa dem LFO (siehe Kapitel 5), verwendet. Hierdurch kann beispielsweise die Frequenz des VCO angepasst werden. Neben der Frequenz, die der LFO ausgibt, ist auch die entsprechende Signalform für den Klang entscheidend. Hier sind beispielsweise Signalformen, wie Dreieck oder Rechteck möglich.

4.2 Schaltplan

Im Folgenden wird näher auf den Schaltplan des LFO eingegangen, welcher in Abbildung xx zu sehen ist. Ein Bauteil von zentraler Bedeutung ist hierbei der Vierfach-Operationsverstärker TL074P. In der gezeigten Schaltung wird dieser als Integrator, Schmitt Trigger, Buffer und LED-Treiber verwendet. Die grundlegende Funktionsweise dieser Funktionsgruppen wurde bereits in Abschnitt 2.3 erläutert und wird deshalb nicht erneut aufgezeigt.

4.3 Platine

bla bla bla

4.4 Mechanischer Aufbau

bla bla bla

Kapitel 5

VCO

5.1 Allgemeines

VCO steht für *Voltage Controlled Oscillator* und dieses Modul stellt die Basis aller analogen Synthesizers da. Mit einem spannungsgesteuerten Oszillator lassen sich verschiedene Signale generieren, deren Frequenz sich mit der angelegten Steuerspannung verändert. Analoge Synthesizer besitzen orientieren sich oft am 1V/Oktave-Standard, der besagt das sich die Frequenz des Signals mit jedem Volt verdoppelt. Dies ist von Vorteil, da das Verhältnis zwischen Musiknoten und den ihnen zugeordneten Frequenzen ebenfalls exponentiell ist. Die tiefste C-Note entspricht beispielsweise einer Frequenz von 16,35 Hz. Wenn wir eine Oktave nach oben gehen, verdoppelt sich die Frequenz beim nächsten C auf etwa 32 Hz. [Make]

Die typische Signale bei analogen Synthesizern können der Abbildung 5.1 entnommen werden.







Waveform Name	Wave Shape
Sawtooth	
Ramp	
Rectangle/Pulse	
Square	
Sine	
Triangle	

Abbildung 5.1: Typische Signale bei analogen Synthesizern [Make]

Bei dieser Umsetzung des VCOs wurde sich auf die Realisierung eines Sägezahn- und Rechtecksignals konzentriert, da sich mit diesen markant-hörbare Geräusche generieren lassen. Ein Sinussignal hingegen stellt einen harmonischen Verlauf dar, der sich ebenfalls im Klang äußert. Hörbare Schwingungen werden mithilfe einer Oszillatorschaltung realisiert, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

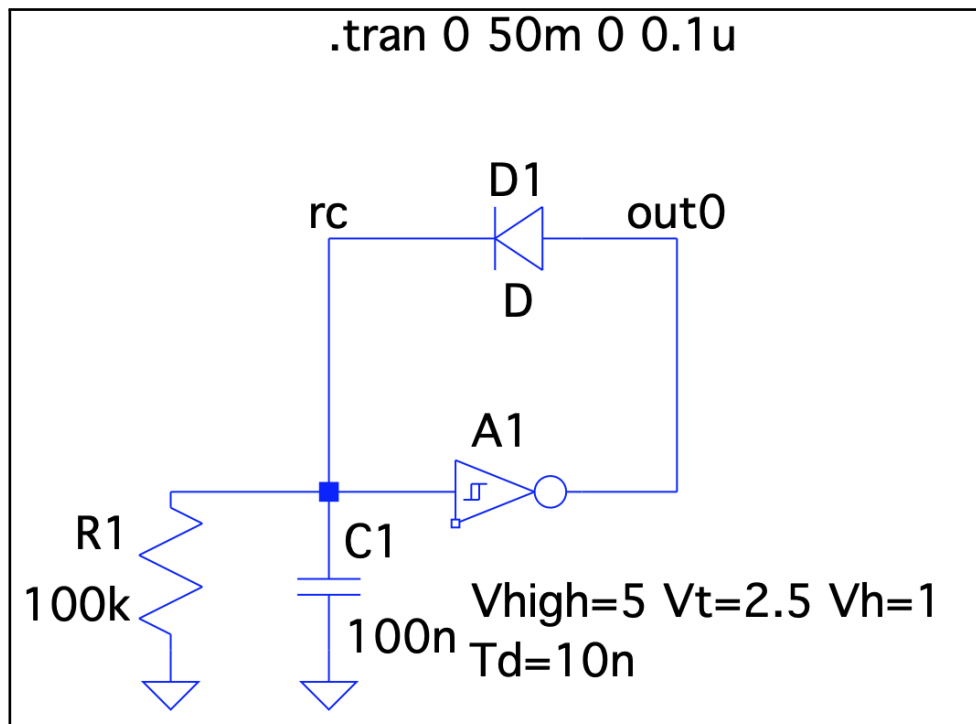


Abbildung 5.2: Oszillatorschaltung

Um die Oszillatorschaltung (vgl. Abbildung 5.2), die den Kern des VCOs darstellt, zu verstehen, erfolgt die Betrachtung des Punktes *rc*. Zu Beginn liegt keine Spannung an, weil der Kondensator leer ist und noch nichts durch die Diode fließt. Das bedeutet, dass am Ausgang des Schmitt-Triggers eine Spannung anliegt, da der Eingang unter dem unteren Eingangsschwellenwert liegt. Dadurch erfolgt ein Stromfluss vom Ausgang über die Diode zu dem Punkt *rc*. Da der Kondensator zunächst leer ist, fließt der ganze Strom in diesen hinein. Während sich der Kondensator auflädt, steigt die Spannung an dem Punkt *rc* rapide an. Dieser Spannungsanstieg wird aber auch vom Schmitt-Trigger-Eingang registriert - als Reaktion darauf fällt der Ausgang auf 0 V ab, sobald der Kondensator aufgeladen ist und die Spannung die obere Eingangsschwelle überschreitet. Das bedeutet, dass kein zusätzlicher Strom durch die Diode fließt und sich der Kondensator wieder entlädt. Aber weil der Widerstand die Strommenge begrenzt, die durchfließen kann, wird sich der Kondensator nicht sofort entladen. Auf dem Spannungsdiagramm entsteht also ein langsamer Abfall. Das geht so lange, bis der untere Schwellenwert des Schmitt-Trigger-Inverters erreicht wird. Sobald diese Schwelle auf dem Weg nach unten unterschritten ist, beginnt der Zyklus von neuem - denn jetzt schwingt der Ausgang wieder nach oben, und alles wiederholt sich. Die Simulation der Schaltung ergibt den Spannungsverlauf am Punkt *rc* in Abbildung 5.3.

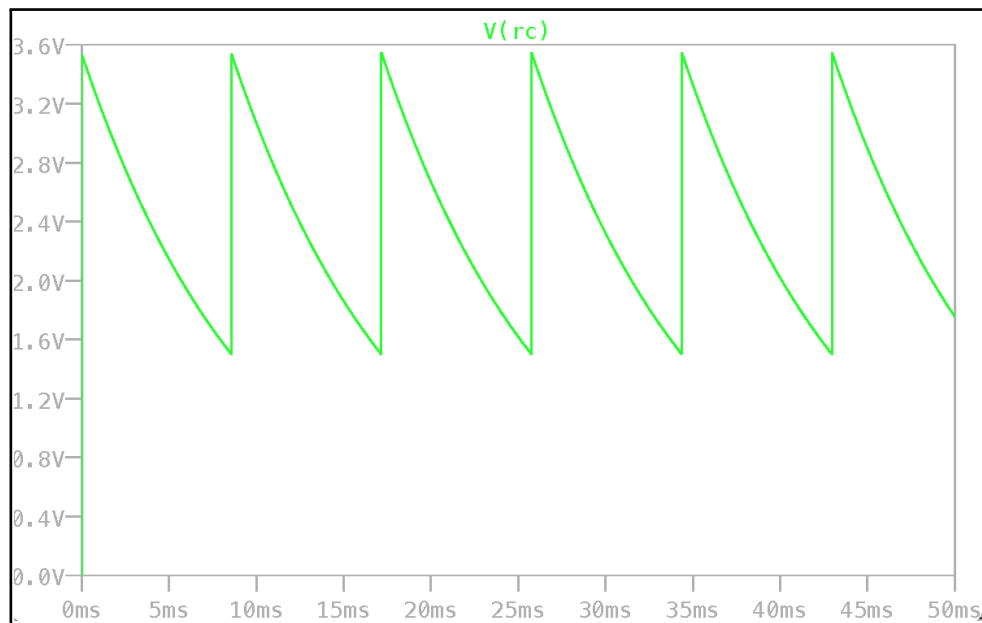


Abbildung 5.3: Oszillator Signalverlauf

Die Frequenz des entstandenen Sägezahnsignals hängt maßgeblich von dem Entladungsvorgang des Kondensators ab. Die Geschwindigkeit dieses Entladungsvorganges wird wiederum durch genau zwei Faktoren bestimmt: die Größe des Kondensators und des Widerstands. Um den VCO an die Volt/Oktave-Norm anzupassen, muss die Beziehung zwischen Spannungseingang und Frequenzgang ebenfalls exponentiell sein, da im Grunde genommen Spannungen auf Musiknoten abgebildet werden. Transistoren sind hier besonders geeignet, da das Verhältnis zwischen der an ihrer Basis angelegten Spannung und dem Strom, den sie zwischen Kollektor und Emitter fließen lassen, exponentiell ist. Die Basisspannung kann mithilfe eines Potentiometers eingestellt werden. Zu beachten ist allerdings, dass bei einem üblichen NPN-Transistor die Kollektor-Emitter Strecke ab etwa der Schwellspannung von 600 – 700 mV an der Basis niederohmig wird und der Oszillator nicht mehr schwingt. Liegt keine Spannung an, ist die Kollektor-Emitter Strecke hochohmig und der Oszillator kann ebenfalls nicht mehr schwingen. Der durch Ausprobieren ermittelte nutzbare Spannungsbereich beträgt etwa 350 – 550 mV. Dies wird mithilfe eines einstellbaren Spannungsteilers realisiert. Die realisierte Schaltung wird im Folgenden anhand dem Schaltplan näher erklärt.

5.2 Schaltplan

Wie ich vorherigen Kapitel erläutert, erfolgt die Änderung der Frequenz der Sägezahnschwingung mithilfe eines NPN-Transistors, welcher im ersten Bereich des Schaltplans zu sehen ist. Der davor geschaltene PNP-Transistor dient zur Temperaturkompensation und fungiert als Emitterfolger, indem die an seiner Basis anliegende Spannung an den Emitter kopiert wird. Allerdings ist die am Emitter des PNP-Transistor anliegende Spannung um der Schwellspannung des Transistors höher. Bei Versuchen an der realen Schaltung betrug diese etwa 500 mV. Um den gewünschten Spannungsbereich an der Basis des NPN-Transistors von etwa 350 – 550 mV zu erreichen,

muss das Potentiometer für die Einstellung der Basisspannung der Transistoren auch negative Spannungswerte liefern.

Aus diesem Grund wird im zweiten Bereich des Schaltplans das Potentiometer VR1 für die grobe Einstellung der Frequenz zwischen der negativen und positiven Versorgungsspannung angeschlossen. Da die Versorgungsspannung ± 12 V beträgt, muss diese mithilfe entsprechender Spannungsteiler (R1, R2, R3, R7, R8) um ungefähr den Faktor 50 auf etwa $-130 - 20$ mV verringert werden. Für die Feineinstellung der Frequenz (VR2) wird durch einen größeren Widerstand (R4) ein größerer Teilerfaktor von etwa 500 realisiert, der eine Spannung im Bereich von $-10 - 0$ mV liefert. Mithilfe dem Eingang *CV_IN* (Control Voltage In) kann ein Sequencer mit einem Klinkenkabel angeschlossen werden, der eine Eingangsspannung von $0 - 5$ V liefert. Um die Volt/Oktave-Norm anzuwenden wird aufgrund von Bauteiltoleranzen zusätzlich ein Präzisionsdrehpotentiometer (R8) verwendet, um das Teilverhältnis des Spannungsteilers einstellen zu können. Der Eingang *FM_IN* (Frequency Modulation In) stellt einen weiteren Eingang dar, dessen Intensität zusätzlich durch ein Potentiometer eingestellt werden kann. An diesen kann beispielsweise ein LFO (Low Frequency Oscillator) angeschlossen werden. Um die Temperaturabhängigkeit der Schaltung zu verbessern, wird weiterhin an allen Eingängen ein NTC-Widerstand angebracht.

Um die resultierende Sägezahnschwingung nach außen führen zu können wird ein entsprechender Buffer benötigt, der durch einen Operationsverstärker realisiert wird. Dies ist zwingend notwendig, da ansonsten in die Funktionsweise der Oszillatorschaltung eingegriffen wird. Dieser Buffer befindet sich im dritten Bereich des Schaltplans. Weiterhin wird eine AC-Kopplung mithilfe des Kondensators C2 und dem Widerstand R10 realisiert. Diese wird benötigt um eine eventuelle Offset-Spannung der Sägezahnschwingung zu entfernen, damit das Signal um den definierten Pegel von 0 V schwingt.

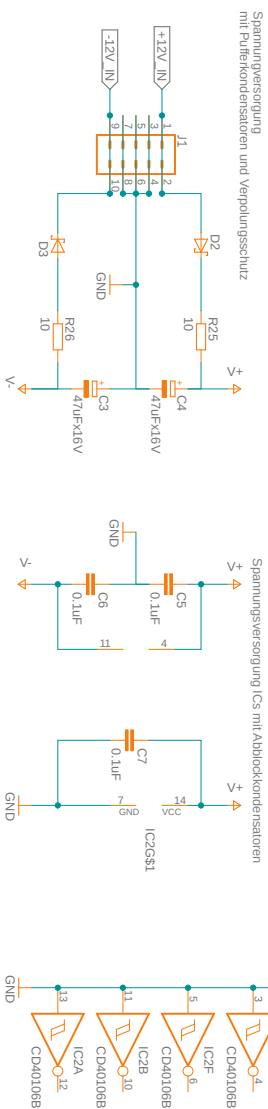
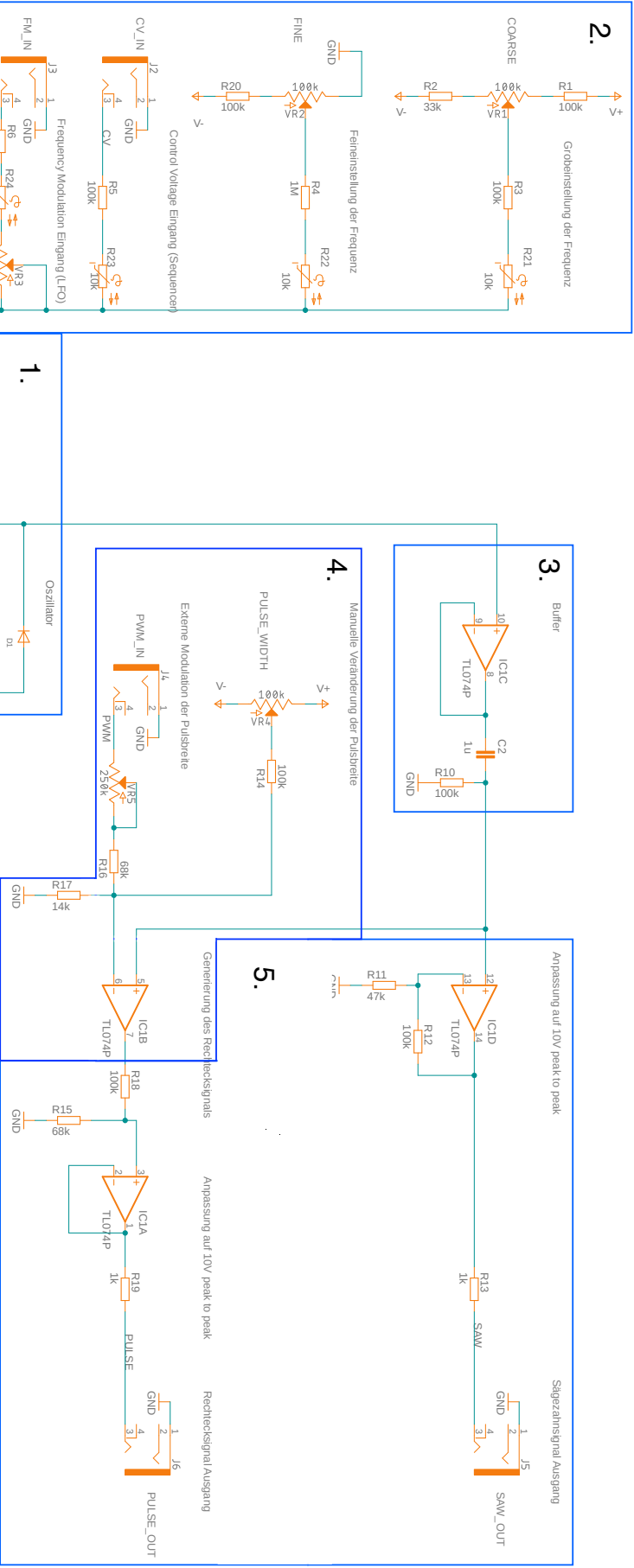
Im vierten Bereich des Schaltplans wird das Rechtecksignal generiert. Dies erfolgt durch eine Komparatorschaltung. An den invertierenden Eingang des Operationsverstärkers wird die zu vergleichende Schwellspannung angelegt. Wird diese überschritten, liefert der Operationsverstärker 12 V. Bei Unterschreitung der Schwellspannung liefert dieser -12 V. Wird die zu vergleichende Spannung variiert, ändert sich das Pulsweitenverhältnis. Zu beachten, dass die einstellbare Schwellspannung nicht höher als die Spannung des Signals selber sein darf, da dadurch der Ausgang einen festen Pegel erhält und kein oszillierendes Signal mehr darstellt. Die Spannung des Sägezahnsignals beträgt an diesem Punkt etwa $\pm 1,5$ V. Durch das Potentiometer VR4 kann die Pulsbreite des Rechtecksignals eingestellt werden. Mithilfe dem Spannungsteiler (R14, R17) wird die einstellbare Schwellspannung von ± 12 V auf etwa $\pm 1,5$ V begrenzt, damit sichergestellt wird, dass die Schwellspannung nicht höher als das Signal ist. Mithilfe dem Eingang *PWM_In* kann die Pulsbreite durch ein anderes Signal wie beispielsweise eines LFOs (Low Frequency Oscillator) extern moduliert werden.

Im fünften Bereich des Schaltplans erfolgt die Anpassung auf einen definierten Pegel von 10 V peak-to-peak. Da die Sägezahnschwingung eine geringe Spannung aufweist, wird diese mithilfe einer nicht invertierenden Verstärkerschaltung vergrößert und an den Klinkenbuchsenausgang *SAW_OUT* geführt. Da der Spannungspegel des Rechtecksignals durch die Komparatorschaltung verstärkt wurde, muss, dieser mithilfe eines Spannungsteilers (R15, R18) entsprechend

reduziert werden. Schließlich wird das Ausgangssignal durch einen Buffer an den Ausgang *PULSE_OUT* geführt.

Nicht eingerahmte Bereiche im Schaltplan stellen die Spannungsversorgung dar. Mithilfe von Schottky-Dioden (D2, D3) wird der Verpolungsschutz der Eingangsspannung von ± 12 V gewährleistet. Durch die Stützkondensatoren (C3 – C7) wird die Versorgungsspannung sowohl am Eingang am Wannenstecker als auch an den IC-Pins stabilisiert. Weiterhin werden nicht verwendete Eingänge des Schmitt-Triggers mit Masse verbunden.

Nachdem die Funktionsweise der Schaltung auf einem Breadboard verifiziert wurde, wird ein Platinenlayout erstellt. Auf die Vorgehensweise bei der Layouterstellung wird im folgenden Kapitel näher eingegangen.



Seite fortgeführt. Auf der gefrästen Platine können diese Leiterbahnen mit Brücken realisiert werden.

Da für die verwendeten Einbauklinkensteckere keine passenden Bibliotheken existieren, mussten diese manuell angelegt werden. Dafür wurde ein Symbol einer anderen Klinkenbuchse kopiert und das Footprint nach dem Datenblatt des Herstellers erstellt wie in Abbildung 5.5 zu sehen.

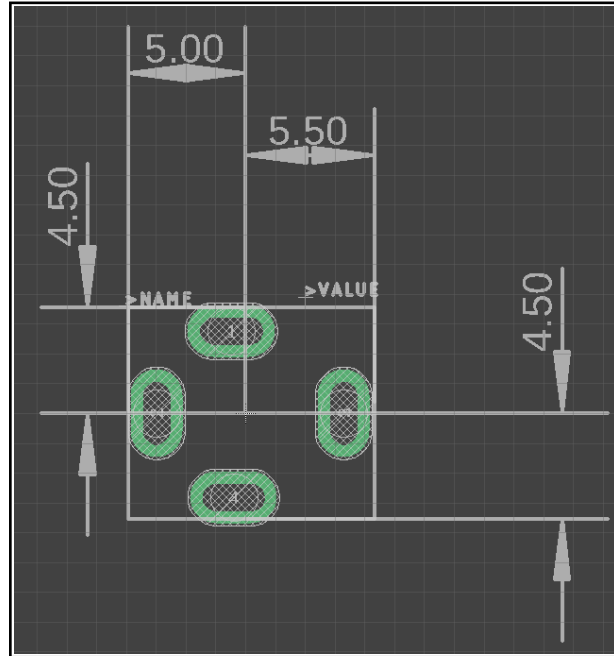


Abbildung 5.5: Erstelltes Footprint der Einbauklinkenbuchse

Für das Fräsen wurden die Gerber-Files aus Fusion 360 exportiert.

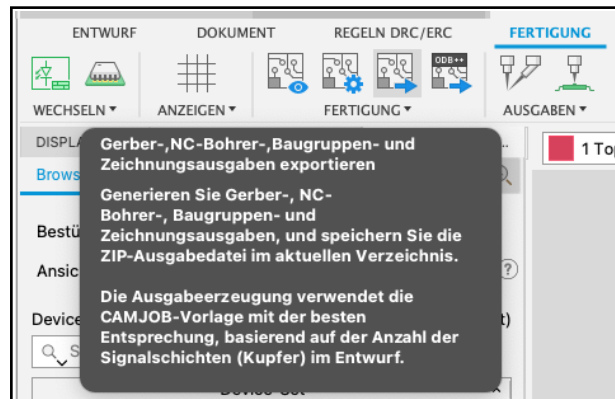


Abbildung 5.6: Fusion 360 Gerber Export

Die gefräste Platine wurde mit einer Fräse von Bantam Tools hergestellt.

Nachdem die gefräste Platine getestet und validiert wurde, wurden die Platinen bei Aisler bestellt. Das Rendering erfolgte im Online-Tool von *Aisler*.

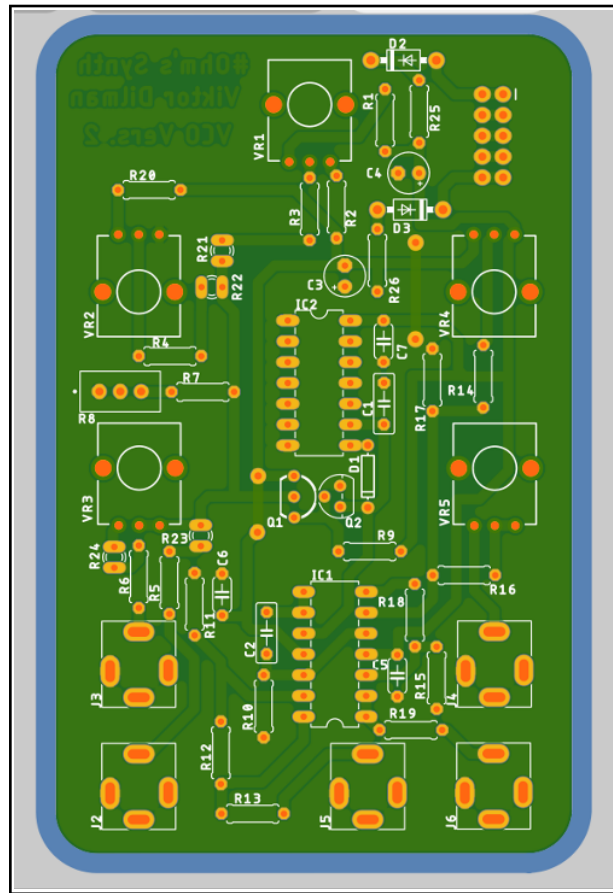


Abbildung 5.7: VCO Rendering (Aisler)

5.4 Mechanischer Aufbau

Durch das Übertragen von einer 2D- auf eine 3D-Leiterplatte wurde eine Frontplatte in Autodesk Fusion 360 angefertigt. Dies hat den Vorteil, dass für die Potentiometer und Klinkenbuchsen die Aussparungen an der Frontplatte exakt positioniert werden konnten. Die Frontplatte wird mithilfe der Gewindeschrauben der Einbauklinkenbuchse an die Platine befestigt. Zusätzlich werden auf die Potentiometer Kappen angebracht die zusätzlichen Halt bieten. Den Ecken der Frontplatte werden Aussparungen angebracht, um das Modul am Ende in einem Eurorack-Gehäuse befestigen zu können. Schließlich wurde Frontplatte aus Plexiglas mit einem Laser-Cutter gefertigt.

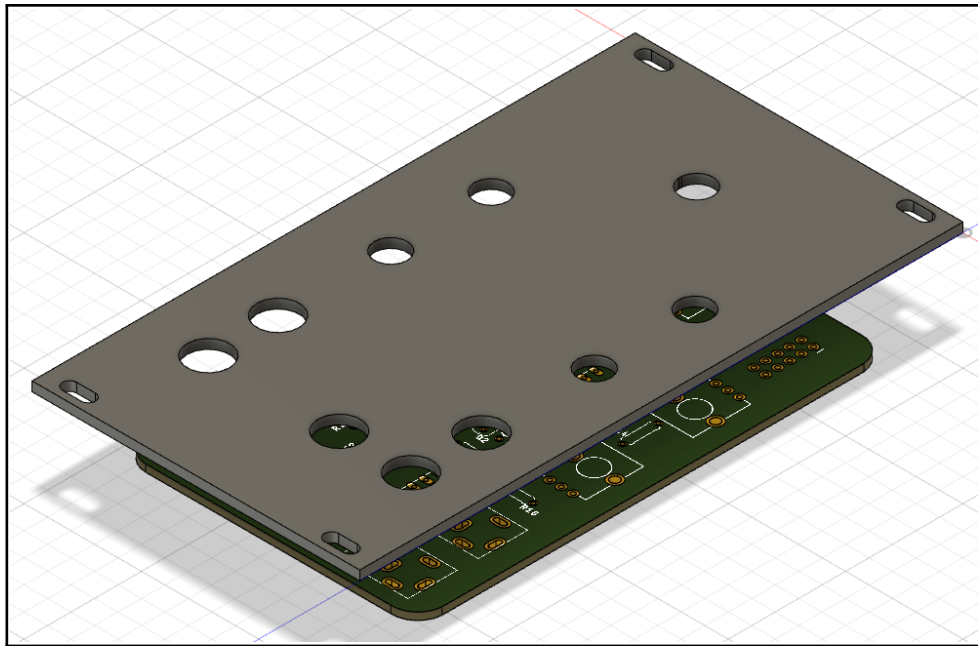


Abbildung 5.8: VCO Rendering (Aisler)

Kapitel 6

Sequenzner

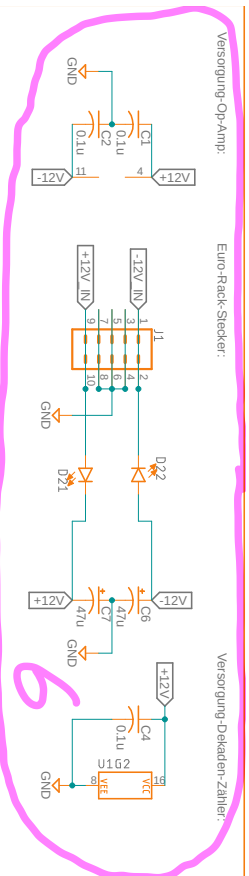
6.1 Allgemeines

Bei dieser Umsetzung eines Sequenzers wurde sich für maximal fünf alternierende Spannungspegel entschieden. In der Literatur ist diese Unterart als 5-Step-Sequencer bekannt, welche wegen ihrer markanten Charakteristik zum Beispiel im bekannten »Hier Name des Syntis im Labor einsetzen« Synthesizer eingesetzt wird. »Als Quelle Manual von genanntem Synti nennen«. Über zwei in der Handebene verbaute Kippschalter kann alternativ zwischen 3- bzw. 4-Stufen-Betrieb gewählt werden. Welcher Schritt aktuell aktiv ist wird durch Status-LEDs in der Frontplatte angezeigt.

Als Spannungsversorgung erhält der Sequenzer ± 12 Volt durch das verbaute Netzteil (vgl. Kapitel 3). Optional kann ein externes Clock-Signal, beispielsweise von einem LFO (vgl. Kapitel 4), angeschlossen werden. Der eigene Takt wird dadurch überbrückt, wodurch das Modul flexibel eingesetzt werden kann. Des Weiteren kann die Sequenz durch ein externes Signal zurückgesetzt werden. Dadurch wird automatisch wieder bei der ersten Stufe der Sequenz begonnen, wodurch dem Nutzer weiterer musikalischer Freiraum freigeräumt wird.

Das Sequenzer-Modul verfügt über drei abgreifbare Ausgangssignale. Ein Clock-Signal, welches über ein Potentiometer in der Handebene parametrisiert werden kann, gibt den internen Takt des Moduls vor, und kann von außerhalb abgegriffen werden. Dessen Spannung toggelt dabei zwischen -12 und +12 Volt. Die Control Voltage (CV) wird zumeist dem VCO (vgl. Kapitel 5) zur weiteren Verarbeitung überreicht. Dabei handelt es sich um eine alternierende Spannungsfolge, welche zwischen 0 und 5 Volt schwanken kann. Die einzelnen Spannungspegel der bis zu fünf Stufen werden durch ein jeweiliges Potentiometer in der Handebene eingestellt. Das dritte Ausgangssignal des Sequenzers bildet der Gate. Ähnlich dem CV wird eine alternierende Spannungsfolge von bis zu fünf Stufen ausgegeben, wobei eine Stufe in zwei Abschnitte geteilt wird. Der erste Abschnitt beträgt, abhängig dem jeweiligen Kippschalter in der Handebene, entweder +12 oder 0 Volt. Der zweite Abschnitt führt immer 0 Volt. Der Gate verhält sich somit ähnlich dem Clock-Signal. Er führt jedoch niemals eine Negative Spannung und seine Stufen sind manuell zuschaltbar. In der Regel wird der Gate als Eingangssignal für den ADSR (vgl. Kapitel xxx) hergenommen.

6.2 Schaltplan



Der Schaltplan des Sequenzers lässt sich, wie in Abbildung 6.2 gezeigt, in sechs Bereiche unterteilen. Der Bereich eins ist zuständig für das Durchschalten der Zustände. Die wesentliche Komponente ist dabei das Bauteil U1G1. Es handelt sich dabei um einen CD4017 Dekadenzähler, der durch das Toggeln des Clock-Signals die verschiedenen Zustände durchschaltet. Der Sequenzer ist für eine Sequenz von maximal 5 Stufen ausgelegt. Durch die beiden Schalter J11 und J12 kann diese jedoch auf 4 bzw. 3 Stufen reduziert werden, was sich an der Rückführung der jeweiligen Stufen auf den RESET-Pin erkennen lässt. Durch den RESET-Eingang J13 lässt sich zusätzlich ein externes Signal einbinden, was einen Fremd-RESET ermöglicht.

Der zweite Bereich des Schaltplans kümmert sich um das Clock-Signal. Dafür wird der Operationsverstärker (OPV) IC1A sowohl über eine Mitkopplung durch R23, als auch über eine Gegenkopplung durch R27 und VR2 betrieben. Der dadurch realisierte Negativ-Impedanz-Konverter lädt bzw. entlädt den Kondensator C3 in Abhängigkeit des Potentiometers VR2. Das daraus entstehende Clock-Signal wird über einen Buffer (IC1D) geführt und unter anderem über den Klinkenausgang J9 nach außen zur Verfügung gestellt. Der Klinkeneingang J10 ist zusätzlich in der Lage das interne Clock-Signal durch ein extern angelegtes zu übersteuern.

Im dritten Abschnitt werden den verschiedenen Zuständen ihre jeweiligen Spannungen zugewiesen. Um das zu erreichen wird jedes Zustandssignal über ein separates Potentiometer gegen Masse geführt. Der Abgriff wird anschließend durch jeweilige Dioden vor rückfließenden Strömen geschützt und zusammengeführt. Um das Spannungssignal nun zu limitieren, wurden zwei Spannungsteiler R1 und R3 für 0 - 5 Volt sowie R1 und R4 für 0 - 2.5 Volt eingesetzt. Um Bauteiltoleranzen kompensieren zu können wurden zusätzlich zwei Trimmer R5 und R6 verbaut. Zwischen den Spannungsbereichen kann über den Schalter J2 gewechselt werden (default: 0 - 5 Volt). Danach kommt wieder ein Buffer (IC1C) und in Reihe dazu der Widerstand R2. Dieser Widerstand sorgt dafür, dass im Falle eines Kurzschlusses der Fehlerstrom begrenzt und dadurch kein Schaden in der Schaltung entsteht. Der so entstandene CV kann über den Klinkenausgang J5 abgegriffen werden.

Der vierte Bereich des Schaltplans (vgl. Abbildung 6.2) ermöglicht das Ablesen des aktiven Zustandes über die Frontplatte. Dafür wird für jeden möglichen Zustand eine LED (D6 - D10) angeschaltet, welche nach außen geführt ist. Die LEDs werden durch eine Emitterschaltung eines 2N3904 NPN Transistor angesteuert. Somit werden die Spannungssignale entlastet und möglichem Schaden vorgebeugt.

Die Funktionalität des Gate-Ausgangs wird in Bereich fünf umgesetzt. Die verschiedenen Stufenspannungen des Dekadenzählers aus Bereich eins werden jeweils über einen Kippschalter sowie eine Diode geführt und danach vereint. Die Schalter ermöglichen ein manuelles Zu- bzw. Wegschalten der einzelnen Stufe im resultierenden Gate-Signal. Die Dioden verhindern, wie auch bei der Umsetzung des CV, ein rückfließen der Ströme in die anderen Stufensignale. Nach der Zusammenführung der Signale folgt der Widerstand R20, sowie das über eine Diode begrenzte Clock-Signal. Das Clock-Signal sorgt dafür das der Gate in jedem Zyklus für die halbe Zeit auf 0 Volt gesetzt wird. Durch den Widerstand R20 wird einem Kurzschluss in diesem Pfad vorgebeugt. Der Widerstand R19 verhindert einen undefinierten Zustand sobald ein Stufe durch einen Kippschalter weggeschaltet wird. Allerdings bilden R19 und R20 einen ungewollten Spannungsteiler, der aus den gewünschten +12 Volt +6 Volt macht. Aus diesem Grund wurde ein weiterer OPV als einfacher Komparator verbaut. Die Widerstände R17 und R18 sorgen für eine Vergleichsspannung von 3.8 Volt am nicht-invertierenden Eingang, weshalb bei den anliegenden

+6 Volt problemlos durchgeschaltet wird. Der negative Teil der Spannung wird anschließend durch die Diode D17 sowie den Pulldown-Widerstand R21 unterbunden. Um der resultierenden hohen Impedanz sowie der begrenzt möglichen Stromentnahme der aktuellen Schaltung entgegenzuwirken, wurde der Ausgang mit einem BC547 NPN Transistor versehen. Dieser wurde als Kollektorschaltung implementiert sowie, um Kurzschlüsse zu vermeiden, mit einem weiteren Widerstand R32 verbaut. Der Gate kann somit über den Klinkenausgang J14 von außen abgegriffen werden.

Der letzte Bereich ist zuständig für die Spannungsversorgung des gesamten Moduls. Das Netzteil (vgl. Kapitel 3) versorgt den Sequenzer mit ± 12 Volt durch den Euro-Rack-Stecker. Um Verpolung vorzubeugen, wurden zwei Dioden D21 und D22 verbaut. Anschließend werden die beiden Spannungen mit den Kondensatoren C6 und C7 gegen Masse gepuffert. Weitere Pufferkondensatoren wurden in der Versorgung der OPV als auch in der Versorgung des Dekadenzählers vorgesehen. (Quellen: EricaSynt:Sequenzer, elektronik-kompodium.de(Emitterschaltung, Kollektorschaltung))

6.3 Platine

bla bla bla

6.4 Mechanischer Aufbau

bla bla bla

Kapitel 7

Filter

7.1 Allgemeines

7.2 Schaltplan

bla bla bla

7.3 Platine

bla bla bla

7.4 Mechanischer Aufbau

bla bla bla

Kapitel 8

Mischer

8.1 Allgemeines

8.2 Schaltplan

bla bla bla

8.3 Platine

bla bla bla

8.4 Mechanischer Aufbau

bla bla bla

Kapitel 9

Gehauese

9.1 Allgemeines

bla bla bla

9.2 Mechanischer Aufbau

bla bla bla

Kapitel 10

Fazit

bla bla bla

Auflistungsverzeichnis

Literatur

- [1] Melvin E. Conway. „Design of a separable transition-diagram compiler“. In: *Communications of the ACM* 6.7 (1963), S. 396–408. ISSN: 0001-0782. DOI: [10.1145/366663.366704](https://doi.org/10.1145/366663.366704).
- [2] Johannes Ernesti und Peter Kaiser. *Python 3. Das umfassende Handbuch*. ger. 5., aktualisierte Auflage 2017, 1., korrigierter Nachdruck. Rheinwerk Computing. Ernesti, Johannes (VerfasserIn) Kaiser, Peter (VerfasserIn). Bonn: Rheinwerk Verlag, 2018. 1040 S. ISBN: 9783836258647. URL: <https://openbook.rheinwerk-verlag.de/python/> (besucht am 24.09.2021).
- [3] Prof. Dr.-Ing. Jürgen Krumm. „Echtzeitsysteme - Teil 2: Scheduling-Mechanismen“. Nürnberg, 2021. (Besucht am 24.09.2021).
- [4] Python Software Foundation, Hrsg. *Queues*. Python Software Foundation. URL: <https://docs.python.org/3/library/asyncio-queue.html> (besucht am 26.09.2021).