

**Schriftliche Hausarbeit  
im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das  
Lehramt an  
Grund-, Haupt- und Realschulen und den  
entsprechenden Jahrgangsstufen der  
Gesamtschulen mit dem Studienschwerpunkt  
Haupt-, Real- und Gesamtschule  
zum Thema**

## **Entwicklung und Bau eines Synthesizers für Ausbildungszwecke**

Stephan Winter

Recklinghausen, 24. Juni 2007

Themensteller: Prof. Dr. Christian Hein

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Entwicklung des Synthesizers</b>	<b>7</b>
2.1	Musikalische Akustik . . . . .	7
2.2	Der Synthesizer . . . . .	9
2.3	Anforderungen . . . . .	12
2.4	Konzept . . . . .	14
<b>3</b>	<b>Der Modul-Synthesizer</b>	<b>17</b>
3.1	VCO . . . . .	18
3.2	VCF . . . . .	27
3.3	VCA . . . . .	35
3.4	LFO . . . . .	43
3.5	ADSR . . . . .	51
3.6	Rauschgenerator . . . . .	60
3.7	Klaviatur . . . . .	67
3.8	Stromversorgung und Auskopplung . . . . .	75
<b>4</b>	<b>Resümee</b>	<b>82</b>
	<b>Glossar</b>	<b>83</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>86</b>
	<b>Schlussklärung</b>	<b>87</b>

# Tabellenverzeichnis

2.1	Einteilung der Synthesizer-Module nach ihrer hauptsächlichen Verwendung . . . . .	12
2.2	Der Zusammenhang zwischen Steuerspannung CV und Frequenz	16
3.1	Kurzbeschreibung des VCO . . . . .	18
3.2	Stückliste zum VCO . . . . .	22
3.3	Kurzbeschreibung des VCF . . . . .	27
3.4	Stückliste zum VCF . . . . .	29
3.5	Kurzbeschreibung des VCA . . . . .	35
3.6	Stückliste zum VCA . . . . .	38
3.7	Kurzbeschreibung des LFO . . . . .	43
3.8	Stückliste zum LFO . . . . .	45
3.9	Kurzbeschreibung des ADSR . . . . .	52
3.10	Stückliste zum ADSR . . . . .	54
3.11	Kurzbeschreibung des Rauschgenerators . . . . .	60
3.12	Stückliste zum Rauschgenerator . . . . .	61
3.13	Kurzbeschreibung der Klaviatur . . . . .	67
3.14	Stückliste zur Klaviatur . . . . .	70
3.15	Kurzbeschreibung der Spannungsversorgung . . . . .	75
3.16	Stückliste zur Stromversorgung . . . . .	76

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Frequenzspektren (schematisch). (a): Ton, (b): Klang, (c): Geräusch (Quelle: [Stö05]) . . . . .	8
2.2	Frequenzen vs. Oktave . . . . .	9
3.1	Die 8 Module des Synthesizers . . . . .	17
3.2	Schaltung des VCO . . . . .	21
3.3	Layout der Oberseite des VCO . . . . .	23
3.4	Layout der Unterseite des VCO . . . . .	24
3.5	Bestückungsplan des VCO . . . . .	25
3.6	Ansicht des VCO . . . . .	26
3.7	Schaltung des VCF . . . . .	30
3.8	Layout der Oberseite des VCF . . . . .	31
3.9	Layout der Unterseite des VCF . . . . .	32
3.10	Bestückungsplan des VCF . . . . .	33
3.11	Ansicht des VCF . . . . .	34
3.12	Schaltung des VCA . . . . .	37
3.13	Layout der Oberseite des VCA . . . . .	39
3.14	Layout der Unterseite des VCA . . . . .	40
3.15	Bestückungsplan des VCA . . . . .	41
3.16	Ansicht des VCA . . . . .	42
3.17	Kurvenformen des LFO . . . . .	43
3.18	Schaltung des LFO . . . . .	46
3.19	Layout der Oberseite des LFO . . . . .	47
3.20	Layout der Unterseite des LFO . . . . .	48
3.21	Bestückungsplan des LFO . . . . .	49
3.22	Ansicht des LFO . . . . .	50
3.23	Schematische Darstellung einer ADSR-Hüllkurve, Quelle [Hoe06] S.19 . . . . .	51
3.24	Oszillogramm des ADSR, oben: CV OUT, unten: GATE . . . . .	51
3.25	Schaltung des ADSR . . . . .	55
3.26	Layout der Oberseite des ADSR . . . . .	56
3.27	Layout der Unterseite des ADSR . . . . .	57

## *Abbildungsverzeichnis*

3.28	Bestückungsplan des ADSR . . . . .	58
3.29	Ansicht des ADSR . . . . .	59
3.30	Schaltung des Rauschgenerators . . . . .	62
3.31	Layout der Oberseite des Rauschgenerators . . . . .	63
3.32	Layout der Unterseite des Rauschgenerators . . . . .	64
3.33	Bestückungsplan des Rauschgenerators . . . . .	65
3.34	Ansicht des Rauschgenerators . . . . .	66
3.35	Schaltung der Klaviatur . . . . .	69
3.36	Layout der Oberseite der Klaviatur . . . . .	71
3.37	Layout der Unterseite der Klaviatur . . . . .	72
3.38	Bestückungsplan der Klaviatur . . . . .	73
3.39	Ansicht der Klaviatur . . . . .	74
3.40	Schaltung der Stromversorgung . . . . .	77
3.41	Layout der Oberseite der Stromversorgung . . . . .	78
3.42	Layout der Unterseite der Stromversorgung . . . . .	79
3.43	Bestückungsplan der Stromversorgung . . . . .	80
3.44	Ansicht der Stromversorgung . . . . .	81

# 1 Einleitung

Elektroakustik in der Technikausbildung? Warum nicht. Funktionsgeneratoren und Filterschaltungen sind Bestandteil der Elektronik- bzw. Elektrotechnik-ausbildung. Geht man von diesen Komponenten aus, so hat man bereits die Grundmodule eines Synthesizers, wie er von Robert Moog in den 60er Jahren entwickelt wurde. Aber worin besteht der Unterschied? Nun, beim Synthesizer werden die erzeugten Signalverläufe wie selbstverständlich hörbar gemacht. Und dies ist genau der besondere Reiz. Unser Gehör ist nämlich durchaus in der Lage Signalverläufe der Elektrotechnik zu deuten. Macht man sich diesen Umstand zu Nutze, so erschließen sich jenseits des Einsatzes der üblichen Messgeräte wie Multimeter, Oszilloskop und Frequenzzähler Möglichkeiten zur Bewertung von Signalen. Begriffe wie Amplituden- und Frequenzmodulation sind einfach zu verstehen, wenn man sie hören kann. Der Frequenzgang eines Filters bekommt Anschauung, wenn man ihn hörbar macht.

Das Thema Elektroakustik im Allgemeinen hat jedoch bisher kaum Ausprägung in der Technikausbildung gefunden. An einen speziell für Ausbildungszwecke konzipierten Synthesizer war kaum zu denken. Die vorliegende Hausarbeit dokumentiert einen Synthesizer, der mit Blick auf die Erfordernisse von Ausbildung vom Autor entwickelt wurde. Diese Hausarbeit versteht sich aber auch als eine Art Handbuch zum Nachbau und zur Anwendung des Systems.

Das erste Kapitel gibt zunächst einen Überblick über die Technik des Synthesizers, um dann Anforderungen zu formulieren. Es schließt mit der Vorstellung eines Konzeptes für einen Synthesizer, der den Ansprüchen für Ausbildung genügen soll. Im zweiten Kapitel wird dann die technische Realisierung des Synthesizers beschrieben. Mit einem Ausblick soll die vorliegende Arbeit schließlich abgeschlossen werden.

## 2 Entwicklung des Synthesizers

Was ist ein Synthesizer, wie ist er aufgebaut und was produziert er eigentlich? Sicherlich muss man nicht jede Frage vollständig beantworten können, um einen Synthesizer zu bauen. Der Autor hat auch erst im Laufe des Entwicklungsprozesses eine umfassendere Sichtweise auf die genannten Fragestellungen gewonnen. Dennoch kommt man nicht umhin, sich diesen Fragen zu widmen. Im Folgenden werden zunächst einige Begriffe der musikalischen Akustik erläutert, der Begriff Synthesizer mit Inhalt gefüllt und die Anforderungen an einen "Synthesizer für Ausbildungszwecke" aufgestellt. Aus diesen drei Abschnitten ergibt sich dann das Konzept für den "Synthesizer für Ausbildungszwecke". Der Grund, zunächst einen Überblick über die musikalische Akustik und den Synthesizer als solchen zu geben, liegt in der Einschätzung, dem Leser so das Verständnis der Anforderungen zu erleichtern.

### 2.1 Musikalische Akustik

Auch wenn noch nicht feststeht, was ein Synthesizer ist und was er genau zu leisten vermag, so soll er doch zumindest Töne, Klänge und Geräusche erzeugen. Diese drei Begriffe meinen nicht dasselbe, haben jedoch u. U. eine Bedeutungsüberschneidung. [Stö05] S. 305f definiert die physikalische Bedeutung der Begriffe wie folgt:

- Töne sind rein sinusförmiger Schall einer einzigen Frequenz;
- Klänge sind Überlagerungen mehrerer diskreter Töne unterschiedlicher Amplitude und verschiedener Frequenzen in ganzzahligen Verhältnissen zueinander;
- Geräusche sind Überlagerungen von Tönen mit kontinuierlichem Frequenzspektrum; es existiert keine Periodik.

Musikinstrumente erzeugen aus physikalischer Sicht keine Töne, sondern Klänge. Denn zum eigentlich angespielten Ton mischen sich immer auch ganzzahlige Frequenzvielfache, die Obertöne. Spricht man von der Tonhöhe, so ist die Frequenz des vorherrschenden Grundtones gemeint. Spricht man von Klangfarbe,

## 2 Entwicklung des Synthesizers

so meint man das Verhältnis der Amplituden der verschiedenen Frequenzen eines Klanges, siehe auch Abbildung 2.1 (S. 8).

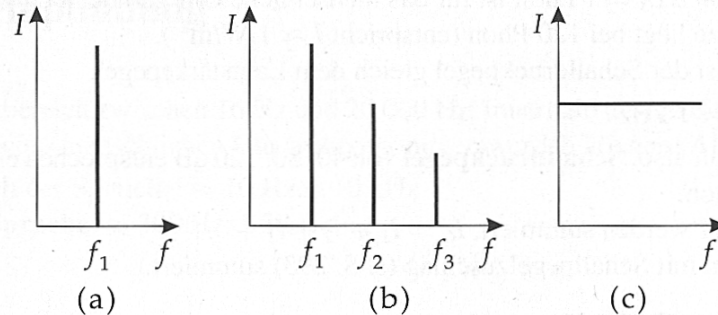


Abbildung 2.1: Frequenzspektren (schematisch). (a): Ton, (b): Klang, (c): Geräusch (Quelle: [Stö05])

Aus physikalisch-musikalischer Sicht bleibt nun noch zu klären, was es denn nun eigentlich ein Tonabstand oder eine Tonleiter ist. Das menschliche Gehör oder vielmehr das musikalische Klangempfinden unseres Kulturkreises empfindet die Folge von Tönen nur dann als wohlklingend, wenn die Frequenzen der Töne einem starren Schema entsprechen. Erster Bestandteil dieses Schemas ist ein beliebiger Frequenzbereich, dessen obere Grenze genau die doppelte Frequenz der unteren Grenze hat. Diesen Frequenzbereich nennt man Oktave. Innerhalb einer beliebigen Oktave sind die Töne nach dem Schema der Tonleiter angeordnet. Hält man innerhalb jeder Oktave das Schema der Tonleiter ein, so spielt es keine Rolle, welche absolute Frequenz die Oktave hat, lediglich der Tatbestand der Verdoppelung der Frequenz vom untersten Ton der Oktave zum obersten Ton der Oktave muss eingehalten werden.

Wie ist jetzt aber das Schema der Tonleiter aufgebaut? Zunächst stellt man fest, dass die Tonleiter 8 Töne hat, siehe [Stö05] S. 306f. Daher hat auch die Oktave ihren Namen. Zu beachten ist lediglich, dass der 8. Ton der Oktave gleichzeitig wieder der erste Ton der nächsten Oktave ist. Die Frequenzen zweier aufeinanderfolgenden Töne einer Tonleiter stehen im Verhältnis eines oder zweier Halbtöne zueinander. Die Oktave ist nämlich in 12 Halbtöne, die im gleichen Verhältnis zueinander stehen geteilt. Da der höchste Ton der Oktave die doppelte Frequenz des tiefsten Tons der Oktave hat, muss die 12-malige Multiplikation des Halbton-Verhältnisses mit 1 gerade 2 ergeben. Das Halbtonverhältnis ist also  $1 : \sqrt[12]{2}$ . Der Begriff Halbtonverhältnis und die Anzahl von 12 lässt es schon erahnen, es ist keineswegs so einfach, dass man von der Frequenz



eines Tones der Tonleiter zur Frequenz des nächsten Tones durch einmalige Multiplikation mit  $\sqrt[12]{2} \approx 1.06$  gelangt, vielmehr haben 6 Töne der Tonleiter einem Abstand von zwei Halbtonverhältnissen und zwei Töne einen Abstand von einem Halbtonverhältnis.

Geht man jetzt noch der Frage nach, an welchen Stellen der Tonleiter die Halbtonschritte und an welchen Stellen zwei Halbtonschritte sind, ist man in der Noten- bzw. Musiklehre angelangt, denn Musiker unterscheiden 26 verschiedene Tonleitern. Auf die weitere Vertiefung kann jedoch hier verzichtet werden, die Technik des Synthesizers muss bei der musikalischen Funktionalität beachten, dass sich die Frequenz von Oktave zu Oktave verdoppelt, und dass zwischen den Tönen ein festes Frequenzverhältnis besteht, siehe Abbildung 2.2 (S. 9). Dieser Umstand des exponentiellen Verlaufs der Frequenzen der Töne wird noch bei dem Konzept des Synthesizers in einem späteren Abschnitt von Bedeutung sein.

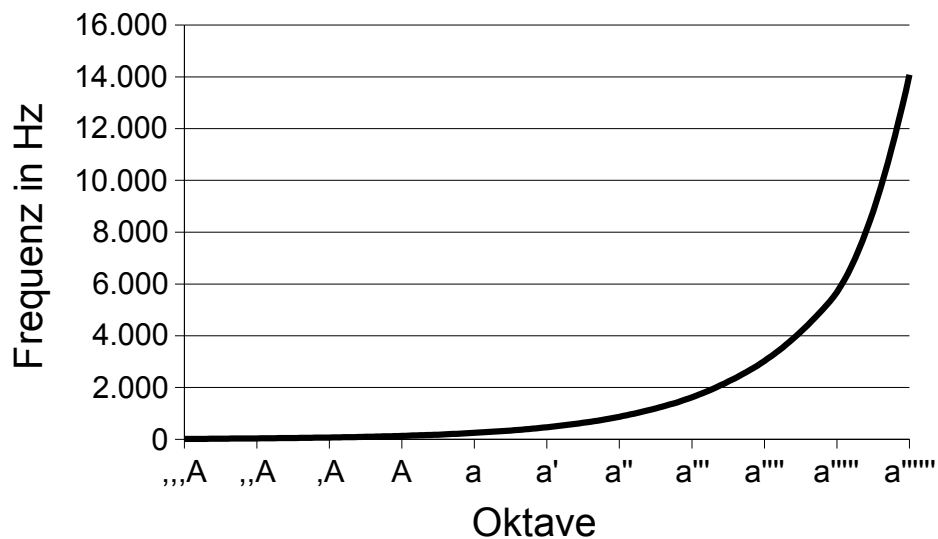


Abbildung 2.2: Frequenzen vs. Oktave

## 2.2 Der Synthesizer

Es bleibt die Frage: Worum handelt es sich bei einem Synthesizer. Das Fremdwörterbuch des Dudenverlags schreibt:

## 2 Entwicklung des Synthesizers

**Synthesizer** der; -s, - (gr.-lat.-engl.): elektronisches Musikinstrument aus einer Kombination aufeinander abgestimmter elektronischer Bauelemente zur Erzeugung von Klängen u. Geräuschen

Mindestens zwei Aussagen lassen sich aus der Definition ableiten:

- Synthesizer erzeugen Klänge und Geräusche;
- Synthesizer sind elektronische Schaltungen, die auch modularisiert sein können.

Tatsächlich lässt sich ein Synthesizer modularisieren, selbst wenn er diese Eigenschaft nicht offensichtlich nach außen trägt, so ist er jedoch zumindest intern modular, von einem software- oder computerbasiertem Synthesizer einmal abgesehen. Es gibt Module zum Erzeugen und Verändern von Geräuschen, Klängen und Tönen, die im Synthesizer als tonfrequente Wechselspannungen vorliegen. Im Folgenden werden diese Spannungen auch Audiospannungen genannt. Ferner gibt es Module, die nur indirekt etwas mit den Audiospannungen zu tun haben, sie erzeugen oder verändern Steuerspannungen, mit denen die Module für die Audiospannungen gesteuert werden. Das bedeutet, die Audiospannungs-Module besitzen Eingänge für Steuerspannungen, die die Erzeugung bzw. Veränderung der Audiospannungen steuern.

Es kommt noch ein wenig komplizierter, auch die Module für die Steuerspannung besitzen teilweise Eingänge für Steuerspannungen, mit deren Hilfe wiederum die Gewinnung der Steuerspannungen beeinflusst wird. Man unterscheidet also zwischen Modulen zur Erzeugung und Veränderung von Audiospannungen und Modulen zur Erzeugung und Veränderung von Steuerspannungen. Für den Begriff Steuerspannung wird im Folgenden auch der englische Ausdruck Control Voltage, abgekürzt CV verwandt.

Fachliteratur über modulare Synthesizer wie z. B. [Anw06] und [Hoe06] führen zumindest die folgenden Module auf:

- **VCO (Voltage Controlled Oscillator)**: Ein Oszillator zur Erzeugung von Audiospannungen, dessen Frequenz über eine Steuerspannung variiert werden kann. Im Regelfall erzeugt ein VCO einen Klang, also ein Tongemisch, welcher durch nachgeschaltete Module verändert wird.
- **VCF (Voltage Controlled Filter)**: Ein Filter zur Veränderung von Audiospannungen, dessen Eck- bzw. Mittenfrequenz über eine Steuerspannung variiert werden kann. In der Regel wird dieses Filter vom VCO gespeist. Üblich ist, dass dieses Filter eine einstellbare Filtergüte hat, die so hoch eingestellt werden kann, dass das Filter auf seiner eingestellten Frequenz sogar mitschwingen kann und damit zu einer Signalquelle wird.

- **VCA (Voltage Controlled Amplifier)**: Ein Verstärker zur Beeinflussung von Steuer- oder Audiospannungen, dessen Verstärkung über eine Steuerspannung variiert werden kann. Mit dem VCA kann man z.B. zeitliche Lautstärkeverläufe erzeugen.
- **LFO (Low Frequency Oscillator)**: Ein Frequenzgenerator zur Erzeugung von Steuerspannungen, dessen Frequenz über eine Steuerspannung variiert werden kann. Der LFO kann direkt die Frequenz des VCO oder indirekt die Lautstärke mittels des VCA beeinflussen. Man erhält im ersten Fall eine Frequenzmodulation und im Zweiten eine Amplitudenmodulation, musikalisch gesehen hätte man einen Vibrato- bzw. Tremolo-Effekt.
- **ADSR (Envelope Generator)**: Ein Steuerspannungsgenerator, der nach einem Eingangsimpuls, dem so genannten Gate, eine sich zeitlich ändernde Spannung erzeugt. Der Verlauf der Spannung lässt sich über die 4 Parameter **Attack**, **Decay**, **Sustain** und **Release**, welche mittels Einstellknöpfen vorgegeben werden, beeinflussen. Das Modul wird eingesetzt um den Lautstärke- oder Tonverlauf eines Klages, wie z.B. das Abschwellen der Lautstärke einer Klaviersaite oder den Klangverlauf einer Pauke zu erhalten.
- **Noise Generator**: Ein Audiospannungsgenerator, der ein in der Lautstärke einstellbares Rauschen erzeugt. Rauschen ist ein Geräusch mit einem kontinuierlichen Spektrum. Durch Filtern erhält man Geräusche, die Schlagzeuginstrumenten, Regen, Sturm, Brandung oder auch Händeklatschen ähneln.
- **Keyboard**: Ein Steuerspannungsgenerator, der in Abhängigkeit der jeweils gedrückten Klaviaturtaste eine Spannung erzeugt. Dabei ist die Höhe der Steuerspannung genau so gewählt dass ein angeschlossener VCO oder VCA genau die der Klaviaturtaste entsprechende Frequenz hat. Außerdem gibt das Keyboard an seinem Gate-Anschluß eine konstante Spannung ab, solange eine Taste gedrückt ist. Dieses Gate-Signal wird meist in das ADSR-Modul gespeist.

Einen Überblick über die Hauptanwendungen der benötigten Module verschafft Tabelle 2.1 (S.12). Die genannten Module werden in aller Regel in einem Modulträger eingebaut, und benötigen noch eine Spannungsversorgung, die häufig ebenfalls als Modul ausgeführt wird.

## 2 Entwicklung des Synthesizers

Eigenschaft	VCO	VCF	VCA	LFO	ADSR	Noise	Keyboard
Erzeugung von Audiospannungen	ja	nein	nein	nein	nein	ja	nein
Veränderung von Audiospannungen	nein	ja	ja	nein	nein	nein	nein
Erzeugung von Steuerspannungen	nein	nein	nein	ja	ja	nein	ja
Veränderung von Steuerspannungen	nein	nein	ja	nein	ja	nein	nein

Tabelle 2.1: Einteilung der Synthesizer-Module nach ihrer hauptsächlichen Verwendung

### 2.3 Anforderungen

Bei der Entwicklung des Synthesizers stellt sich das enorme Potenzial der Anwendung heraus, so dass teilweise ganz neue Anforderungen formuliert werden konnten. Drei Kategorien werden im Folgenden unterschieden: Anforderungen an die Didaktik, an die musikalische Funktionalität und an die allgemeine Handhabung.

#### Didaktische Anforderungen

Eine der wichtigsten Anforderungen, nicht nur aus didaktischer Sicht, ist die Elementarisierung zu funktionalen Modulen, um die Komplexität einer Lerneinheit anpassen zu können. Inhaltlich, soll der Synthesizer Möglichkeiten zur Auseinandersetzung mit den folgenden Aspekten geben:

- Klangunterschied von Sinus-, Dreieck- und Rechteckschwingung
- Wirkungsweisen von Hoch-, Band-, und Tiefpass
- Verlauf von Dreiecks-, und Sägezahnschwingungen
- Amplitudenmodulation
- Frequenzmodulation
- Tonleiter und Tonabstand

#### Musikalische Anforderungen

Ein Schüler, der nach kurzer Beschäftigung mit dem Synthesizer feststellen müsste, dass dieser nur didaktische Ziele verfolgt und eigentlich "gar kein richtiger

## 2 Entwicklung des Synthesizers

Synthesizer" für musikalische Zwecke ist, verliert zu Recht an Motivation. Ein vernünftiges Maß an Authentizität verhilft dem System vielleicht einmal zu einem interdisziplinären Einsatz im Musikunterricht oder einer AG. Vor diesem Hintergrund stehen die folgenden Ansprüche:

- Funktionsumfang muss mit bestehenden Synthesizern konkurrieren können
- eine Klaviatur muss vorhanden sein
- hinreichende Frequenzstabilität und Genauigkeit
- hinreichende auditive Signalqualität

### **Allgemeine Anforderungen**

Der Nachbau des Synthesizers, die Kompatibilität zu vorhandenen didaktischen Modulsystemen, finanzielle Aspekte und andere Voraussetzungen schlagen sich in den nachstehend aufgeführten Anforderungen nieder:

- Schaltungen müssen auf Platinen mit den Maßen 50mm×100mm Platz finden
- jede Platine muss eine in sich geschlossene Funktionseinheit bilden
- einfach zu lötfende Leiterbahnführung, keine SMD-Bauteile verwenden
- Signalanschlüsse werden mittels doppelt ausgeführter 1,3mm Lötstifte hergestellt
- Steuerspannungen werden im oberen Teil, Audiospannungen im unteren Teil der Module angeordnet
- der logische Signalfluss sollte von links nach rechts sein, d. h. Eingänge werden auf der linken Seite und Ausgänge auf der rechten Seite angeordnet
- einheitliche Spannungsversorgung
- Unempfindlichkeit gegen Falschverbindungen
- Unempfindlichkeit gegen Brummeinstrahlung
- Modularität

### 2.4 Konzept

Die Module des Synthesizers werden als Leiterplatten im bewährten Format 50mm×100mm realisiert. Diese Platinen nehmen die Schaltung, elektrischer Anschlüsse und Bedienelemente inklusive einer erforderlichen Beschriftung auf. Die Verwendung eines Rahmens, in den man die Module einschieben kann, erleichtert den Aufbau einer Konfiguration. Außer den Modulen, die im Abschnitt 1.2 aufgeführt sind, wird auch ein Modul zur Spannungsversorgung entwickelt. Die Spannungsversorgung wird mittels zweier, durchgängig gleich angeordneter, Molex-Steckverbindungen von Modul zu Modul durchgeschliffen. Alle übrigen Anschlüsse, vornehmlich für Audio- und Steuerspannungen, werden doppelt mit 1,3mm Lötstiften ausgeführt. Auf diese Weise kann z. B. ein Ausgang auf mehrere Eingänge geschaltet werden. Um die Möglichkeit des Mischens bzw. der Addition von Audio- und Steuerspannungen zu haben, werden alle Spannungseingänge als zweifach Summeneingang ausgelegt. Zudem erhalten die entsprechenden Platinen ein Poti, mit dem eine dritte, variable Steuerspannung zu den beiden anderen addiert werden kann.

Damit das Zusammenarbeiten der Module untereinander oder auch nach außen gewährleistet ist, werden einige elektrische Parameter spezifiziert. Die Versorgungsspannung wird symmetrisch ausgelegt und beträgt  $\pm 12V$ . Die Audiospannung wird auf  $1V_{SS}$  und die Steuerspannung auf den Bereich 0..10V festgelegt. ADSR und Keyboard arbeiten mit einem positiven Gate, das heißt die Gate-Spannung der Tastatur geht beim Drücken einer Taste von 0V auf 12V.

Die Ansteuerung von VCO und VCF benötigt besondere Beachtung. Würde man die Frequenz der beiden Module proportional zur Höhe der Steuerspannung ändern, so müsste man allerhöchste Genauigkeiten in den niedrigen Oktaven haben. Denn wie bereits im Abschnitt Musikalische Akustik behandelt, bedeutet eine Frequenzänderung von beispielsweise 10Hz in der Kontraoktave (32Hz-64Hz) eine Erhöhung um mehr als zwei Halbtöne, in der 6-gestrichenen Oktave (8kHz-16kHz) dagegen nur eine Erhöhung um 1.000tel Halbton. Aus diesem Grund werden VCO und VCF mit Exponential-Verstärkern ausgestattet, die eine 1V/Oktave-Charakteristik haben. Man hat jetzt den Vorteil, dass 0V Steuerspannung der tiefsten Frequenz entspricht und sich die Frequenz bei jeder Erhöhung der Steuerspannung um 1V verdoppelt. Der Aufwand der Exponential-Verstärker wird mit einer einfachen Erzeugung und Verarbeitung der Steuerspannung belohnt: Die Klaviatur besteht im Kern aus einem Spannungsteiler mit 12 gleichen Widerständen, und man kann durch Addieren von konstanten Steuerspannungen eine Erhöhung oder Erniedrigung der Frequenz um einen konstanten Tonabstand erreichen, egal in welcher Oktave man gerade

## 2 Entwicklung des Synthesizers

ist.

Den Zusammenhang zwischen Steuerspannung CV und der Frequenz kann man der Tabelle 2.2 (S. 16) entnehmen. Man sieht, dass die Standardoktave bei Spannungen zwischen 3V und 4V erzeugt wird, welches einer Frequenz von ca. 262Hz bzw. ca. 523Hz entspricht. Das Klaviaturmodul ist genau für diese Oktave ausgelegt. Es unterteilt den Bereich von 3V bis 4V in genau zwölf gleiche Teile und liefert die entsprechenden Spannungen. Durch die exponentielle Verstärkung der Steuerspannung im VCO bzw. VCF entstehen aus der 12er-Teilung des Klaviaturmoduls, die dem Tonleiter-Schema entsprechenden Halbtonverhältnisse.

Besondere Bedeutung hat das eingestrichene a'. Es wird auch Kammerton genannt und hat die genormte Frequenz von 440Hz. Dieser Ton wird bei einer Spannung von 3,75V erreicht. Das Ende der Tabelle liegt bei 9V, welches dem 7-gestrichenem C entspricht und eine für ältere Menschen nicht mehr hörbare Frequenz von über 16,7kHz hat. Bei einer Steuerspannung von 0V erhält man eine Frequenz von ca. 32,7Hz, dies ist das ,C der Kontraoktave. Auf die Erzeugung der Töne der Subkontraoktave (16Hz-32Hz) wurde zu Gunsten einfacherer Schaltungen verzichtet.

Zur Erhöhung der Schaltungsstabilität und des Störspannungsabstandes wurden einige Maßnahmen ergriffen. Die Impedanzen der Audioausgänge sind niederohmig ausgelegt, die Impedanzen der Audioeingänge betragen ca. 10k $\Omega$ . Analoge Schaltungsteile werden auf jedem Modul über LC-Filter von der Versorgungsspannung entkoppelt. Schwingneigungen wurde mit Gegenkoppelungsmaßnahmen entgegnet, deren Eckfrequenzen für die Steuerspannungen bei 1,3kHz und für die Audiospannung bei ca. 13kHz liegen.

## 2 Entwicklung des Synthesizers

Ton	Frequenz in Hz	Spannung in V	Ton	Frequenz in Hz	Spannung in V
,C	32,703	0,00	c''	1046,502	5,00
,C#	34,648	0,08	c''#	1108,731	5,08
,D	36,708	0,17	d''	1174,659	5,17
,D#	38,891	0,25	d''#	1244,508	5,25
,E	41,203	0,33	e''	1318,510	5,33
,F	43,654	0,42	f''	1396,913	5,42
,F#	46,249	0,50	f''#	1479,978	5,50
,G	48,999	0,58	g''	1567,982	5,58
,G#	51,913	0,67	g''#	1661,219	5,67
,A	55,000	0,75	a''	1760,000	5,75
,A#	58,270	0,83	a''#	1864,655	5,83
,H	61,735	0,92	h''	1975,533	5,92
C	65,406	1,00	c'''	2093,005	6,00
C#	69,296	1,08	c'''#	2217,461	6,08
D	73,416	1,17	d'''	2349,318	6,17
D#	77,782	1,25	d'''#	2489,016	6,25
E	82,407	1,33	e'''	2637,020	6,33
F	87,307	1,42	f'''	2793,826	6,42
F#	92,499	1,50	f'''#	2959,955	6,50
G	97,999	1,58	g'''	3135,963	6,58
G#	103,826	1,67	g'''#	3322,438	6,67
A	110,000	1,75	a'''	3520,000	6,75
A#	116,541	1,83	a'''#	3729,310	6,83
H	123,471	1,92	h'''	3951,066	6,92
c	130,813	2,00	C''''	4186,009	7,00
c#	138,591	2,08	C''''#	4434,922	7,08
d	146,832	2,17	D''''	4698,636	7,17
d#	155,563	2,25	D''''#	4978,032	7,25
e	164,814	2,33	E''''	5274,041	7,33
f	174,614	2,42	F''''	5587,652	7,42
f#	184,997	2,50	F''''#	5919,911	7,50
g	195,998	2,58	G''''	6271,927	7,58
g#	207,652	2,67	G''''#	6644,875	7,67
a	220,000	2,75	A''''	7040,000	7,75
a#	233,082	2,83	A''''#	7458,620	7,83
h	246,942	2,92	H''''	7902,133	7,92
<b>c'</b>	<b>261,626</b>	<b>3,00</b>	C''''	8372,018	8,00
<b>c'#</b>	<b>277,183</b>	<b>3,08</b>	C''''#	8869,844	8,08
<b>d'</b>	<b>293,665</b>	<b>3,17</b>	D''''	9397,273	8,17
<b>d'#</b>	<b>311,127</b>	<b>3,25</b>	D''''#	9956,063	8,25
<b>e'</b>	<b>329,628</b>	<b>3,33</b>	E''''	10548,082	8,33
<b>f'</b>	<b>349,228</b>	<b>3,42</b>	F''''	11175,303	8,42
<b>f'#</b>	<b>369,994</b>	<b>3,50</b>	F''''#	11839,822	8,50
<b>g'</b>	<b>391,995</b>	<b>3,58</b>	G''''	12543,854	8,58
<b>g'#</b>	<b>415,305</b>	<b>3,67</b>	G''''#	13289,750	8,67
<b>a'</b>	<b>440,000</b>	<b>3,75</b>	A''''	14080,000	8,75
<b>a'#</b>	<b>466,164</b>	<b>3,83</b>	A''''#	14917,240	8,83
<b>h'</b>	<b>493,883</b>	<b>3,92</b>	H''''	15804,266	8,92
c''	523,251	4,00	C''''''	16744,036	9,00
c''#	554,365	4,08			
d''	587,330	4,17			
d''#	622,254	4,25			
e''	659,255	4,33			
f''	698,456	4,42			
f''#	739,989	4,50			
g''	783,991	4,58			
g''#	830,609	4,67			
a''	880,000	4,75			
a''#	932,328	4,83			
h''	987,767	4,92			

Tabelle 2.2: Der Zusammenhang zwischen Steuerspannung CV und Frequenz



### 3 Der Modul-Synthesizer

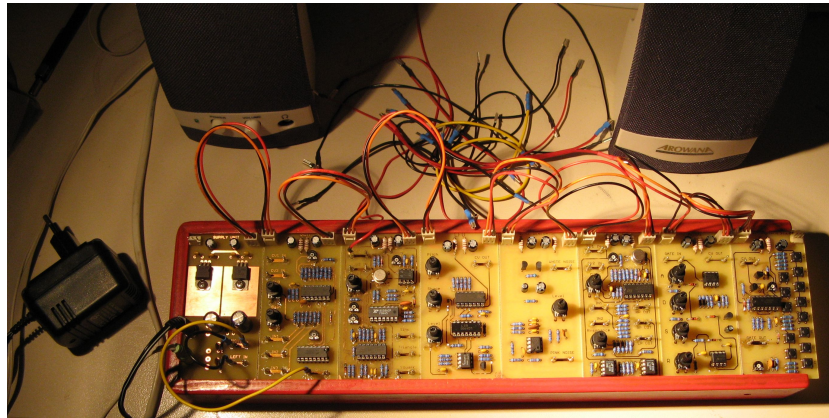


Abbildung 3.1: Die 8 Module des Synthesizers

Das Foto der Abbildung 3.1 zeigt alle 8 Module des Synthesizers, eingeschoben in einen Holzrahmen. Bei dem ganz linken Modul handelt es sich um das Modul "Spannungsversorgung und Auskopplung", in welches ein Steckernetzteil und die Lautsprecher, die im Hintergrund erkennbar sind, eingesteckt werden können. Dieses Modul ist beispielhaft mit dem daneben angeordnetem Modul über eine Litze verbunden. Zu Erkennen sind die Kabelbrücken, die jeweils ein Modul mit dem nächsten zur Spannungsversorgung verbinden. Trimmer mit kleinen Steckachsen wurden als Einstellpotenziometer verwendet. Die fotografischen Einzeldarstellungen der Module wurden ohne Steckachsen aufgenommen. Im Folgenden werden die einzelnen Module des Synthesizers beschrieben. Nach Möglichkeit wurde auf die Verwendung wiederkehrend gleicher Bauteile geachtet. So wird durchgängig der TL084 oder TL082 als Operationsverstärker eingesetzt. Dieser ist rauscharm, hat J-FET Eingänge mit sehr hohem Eingangswiderstand und eine niedrige Ausgangsimpedanz.

#### **Hinweise zum Aufbau der Module**

Die Platinen der Module sind doppelseitig, das bedeutet, dass einige Bauteile auch von oben angelötet werden müssen. Empfehlenswert ist, vor der Be-

### 3 Der Modul-Synthesizer

stückung entsprechende Markierungen im Bestückungsplan vorzunehmen, da nach der Bestückung einige der betroffenen Lötungen schwer zu erkennen sind. IC's sollten gesockelt werden, damit bei dem Verlöten von oben kein Hitzedefekt der IC's eintreten kann. Die verwendeten Lötnägel haben quadratische Füße mit 1,3mm Kantenlänge. Deshalb müssen sie in die runden 1,3mm Bohrungen eingeschlagen werden. Dies sollte vor jeglicher Bestückung erfolgen, damit die Platinen nicht brechen.

#### 3.1 VCO

VCO ist die Abkürzung des englischen Begriffs Voltage Controlled Oscillator, übersetzt: Spannungsgesteuerter Oszillator. Dieses Modul erzeugt Sinus-, Dreieck- und Rechteckschwingungen, deren Frequenz  $f_{out}$  von den Steuerungsspannungen CV1, CV2 und CV3 nach folgender Beziehung abhängt:  $f_{out} = 32Hz * 2^{CV1+CV2+CV3}$ . Der VCO hat also die gewünschte 1V/Oktave Charakteristik. Im Kontext eines Synthesizers wird das Sinus-Signal eines VCO-Moduls eher nicht benötigt. Da dieses Modul auch mit Blick auf eine weitergehende Verwendung in der Informationstechnik entwickelt wurde, sollten die drei Schwingungsgrundformen gleichzeitig abgreifbar sein.

Kurzbeschreibung Synthesizer-Modul		
Name	VCO	
Zweck	Erzeugung von Audiospannungen, steuerbarer Frequenz mit den Kurvenverläufen Dreieck, Rechteck und Sinus	
Eingänge	CV1:	Steuerspannung Frequenz (summierend)
	CV2:	Steuerspannung Frequenz (summierend)
Ausgänge	SINE:	Sinus-Audiospannung
	TRIANGLE:	Dreieck-Audiospannung
	SQUARE:	Rechteck-Audiospannung
Bedienelemente	CV3:	Poti für die Frequenz (summierend)

Tabelle 3.1: Kurzbeschreibung des VCO

#### Schaltung

Abbildung 3.2 (S.21) zeigt die Schaltung des VCO. CV1 und CV2 sowie die mittels TR2 auf dem Modul erzeugte CV3 werden von IC2D summiert. Der Vorteil dieses invertierenden Summierers liegt darin, dass ein offener Eingang einer angelegten Spannung von 0V entspricht. Die Eingänge sind mit 100k recht hochohmig, damit für TR2 kein allzu kleiner Wert gewählt werden muss. C5 unterdrückt hochfrequente Signale und sorgt für Stabilität. Diese Eingangsschaltung für Steuerspannungen wird auch bei den anderen Modulen so realisiert.

Die invertierte Summe der CV wird in den Exponentialverstärker um IC2B, IC1A und T1 gespeist [UT02] S.769 und [Schb]. Dieser Verstärker setzt eine im Bereich von 0-9V liegende Spannung in einen Strom durch R4 von  $9,5\mu\text{A}$  bis  $3,1\text{mA}$  um. Der mathematische Zusammenhang zwischen der Steuerspannung CV und dem Strom I durch R4 lautet:  $I = 9,5\mu\text{A} * 2^{CV}$ . Die Temperaturkompensation des Exponentialverstärkers übernimmt der NTC R14.

Die Erzeugung der Tonfrequenzen wird dem integrierten Schaltkreis 8038 überlassen. Dem Datenblatt dieses Funktionsgenerators [Int01] sowie einer Application Note [Int96] sind zu entnehmen, dass über eine Spannung an Pin 4 die Frequenz geändert wird. Die Spannung an diesem Pin muss im Bereich von einigen Millivolt über der Versorgungsspannung bis herunter auf  $2/3$  der Versorgungsspannung zzgl. 2V liegen, wobei höhere Spannung niedrigere Frequenz bedeutet.

Damit der 8038 bis herunter zu einer Frequenz von 0Hz arbeitet, muss die Spannung an seinem Pin 4 einige 10mV über der Versorgungsspannung des IC's liegen. Diese Möglichkeit verschafft der Spannungsabfall über D4. Damit die erzeugten Wechsellspannungen symmetrisch um GND liegen, wurde auch D5 in die negative Versorgung eingeschlossen. Damit der 8038 seine Maximalfrequenz erzeugt, muss die Spannung an Pin 4 ca. 6V betragen. Diese eigenartige Ansteuerung übernimmt IC1B: ein Differenzverstärker, dessen Ausgangsmassepunkt auf die Versorgungsspannung von IC3 gelegt wurde, überträgt die Spannung über R4 zwischen dem Pin 4 des 8038 und seinem positiven Versorgungsanschluß Pin 6. Diese Schaltung wird z.B. auch bei [UT02] (S. 797) zum Aufbau einer Stromquelle verwandt. Übrigens auch im Datenblatt [Lin94] zum LT1228 einem OTA von Linear Technology ist die Schaltung zu finden. Beim VCF, wie auch bei dem VCA-Modul wird davon Gebrauch gemacht.

IC2A, IC2B und IC2C verstärken bzw. schwächen die Audiospannungen auf  $1V_{SS}$  ab. Auch hier sind zur Erhöhung der Stabilität entsprechende Gegenkopplungen mit C2, C3, und C6 realisiert.

#### Aufbau

Auf Grundlage der Hinweise von S. 17, der Stückliste (Tabelle 3.2, S. 22) und des Bestückungsplans (Tabelle 3.5, S. 25) wird die Leiterplatte des VCO bestückt. Der NTC-Widerstand R14 sollte vor dem Transistorpaar LM394 eingelötet und in Richtung des LM394 auf die Platine gebogen werden, so dass er unter den LM394 gelangt. Die fertige Schaltung wird wie folgt abgeglichen:

1. Frequenzzähler an den Rechteck-Ausgang anschließen.
2. Oszilloskop an den Dreieck-Ausgang anschließen.
3. 0V Steuerspannung einstellen, mit TR1 Frequenz auf 32Hz einstellen.
4. 3,75V Steuerspannung einstellen, mit TR3 und TR4 wechselseitig unter Einhaltung eines symmetrischen Dreiecksignals auf eine Frequenz von 440Hz einstellen.
5. Schritte 3 und 4 wiederholen, bis keine gegenseitige Beeinflussung mehr feststellbar ist.



### 3 Der Modul-Synthesizer

Bauteil	Wert	Bezeichnung	Quelle	Bestell-Nr
<b>Widerstände</b>				
R1, R2, R5, R7, R10, R12, R17, R18	100k	Metallschichtwiderstand 1%		
R3, R20	2M	Metallschichtwiderstand 1%		
R4	820R	Metallschichtwiderstand 1%		
R6, R8, R16, R25, R26	10k	Metallschichtwiderstand 1%		
R9	33k	Metallschichtwiderstand 1%		
R11	5,6k	Metallschichtwiderstand 1%		
R13	12k	Metallschichtwiderstand 1%		
R14	4,7k NTC	NTC Widerstand	Reichelt	NTC-0,2 4,7K
R15	4,7k	Metallschichtwiderstand 1%		
R19	270R	Metallschichtwiderstand 1%		
R21	15k	Metallschichtwiderstand 1%		
R22	2,2k	Metallschichtwiderstand 1%		
R23, R24	1k	Metallschichtwiderstand 1%		
R27	270k	Metallschichtwiderstand 1%		
R28	82k	Metallschichtwiderstand 1%		
<b>Trimmer</b>				
TR1, TR3, TR4	5k	Trimmer, 6mm liegend, f. Steckachse	Segor	PT6KV-5k
TR2	10k	Trimmer, 10mm, liegend, f. Steckachse	Segor	PT10MV-10k
<b>Kondensatoren</b>				
C1, C4, C5	1nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	X7R-5 1n
C2, C3, C6	100pF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	NPO-5 100P
C7, C8	100µF	Miniatur Elko	Reichelt	SM 100/16RAD
C9	100nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	X7R-5 100n
C10	6,6nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	
<b>Spulen</b>				
L1, L2	10µF	Spule		SMCC 10µ
<b>Halbleiter</b>				
D1	1N4148	Universaldiode	Segor	1N 4148
D2, D3	4,7V	Zenerdiode 0,5W	Reichelt	ZF 4,7
IC1	TL082	OP-AMP, Low Noise, JFET, 2-fach	Reichelt	TL082 DIL
IC2	TL084	OP-AMP, Low Noise, JFET, 4-fach	Reichelt	TL084 DIL
IC3	ICL8038	Funktionsgenerator IC	Reichelt	XR 8038CP
T1	LM394CH	NPN Transistorpaar, super-matched	Reichelt	LM 394 TO
<b>Sonstiges</b>				
J1, J2		Molex-Stecker, 3pol, 2er Set mit Kabel	Conrad	743127
K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10		1,3mm Lötnagel	Conrad	526274

Tabelle 3.2: Stückliste zum VCO

### 3 Der Modul-Synthesizer

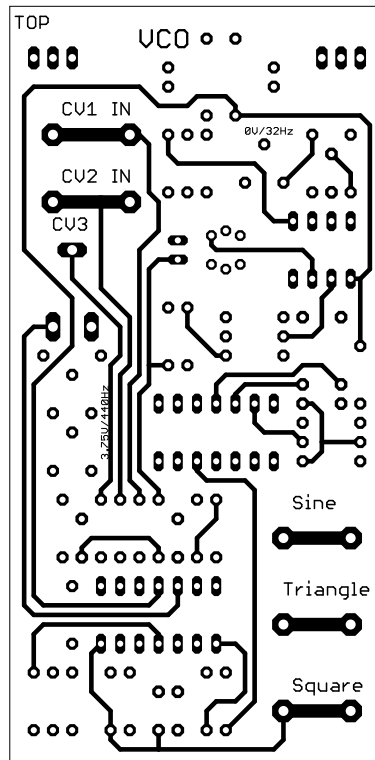


Abbildung 3.3: Layout der Oberseite des VCO

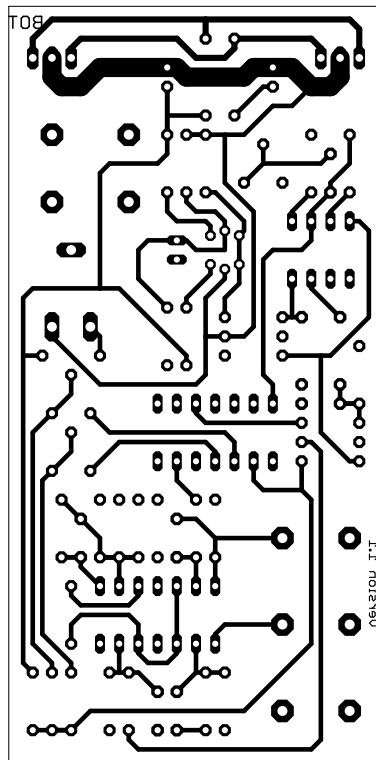


Abbildung 3.4: Layout der Unterseite des VCO



### 3 Der Modul-Synthesizer

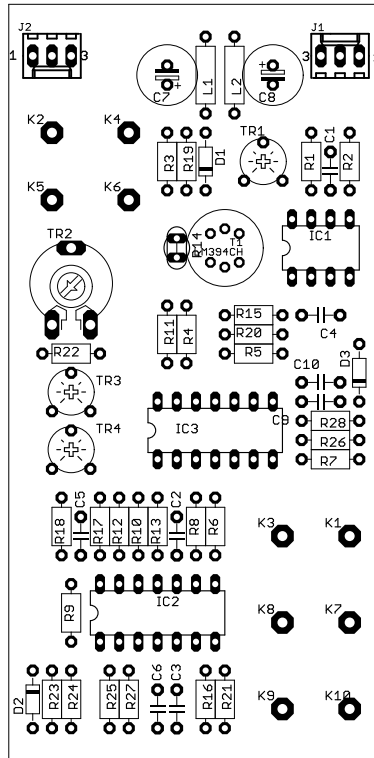


Abbildung 3.5: Bestückungsplan des VCO

### 3 Der Modul-Synthesizer

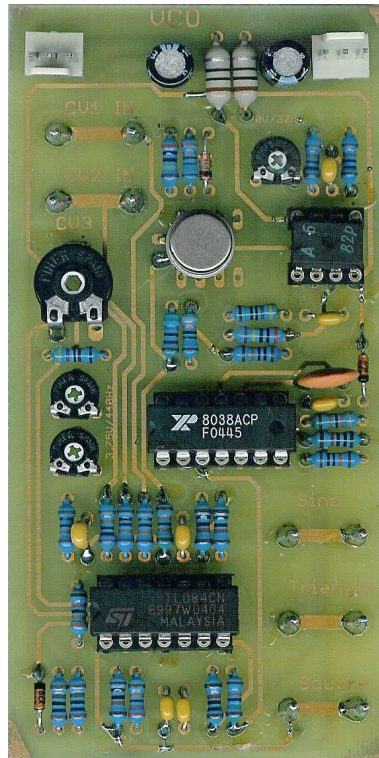


Abbildung 3.6: Ansicht des VCO

### 3.2 VCF

VCF ist die Abkürzung des englischen Begriffs Voltage Controlled Filter, übersetzt: Spannungsgesteuertes Filter. Dieses Modul ist ein Hoch-, Band- und Tiefpass, deren Frequenz  $f_{out}$  von den Steuerspannungen CV1, CV2 und CV3 nach folgender Beziehung abhängt:  $f_{out} = 32Hz * 2^{CV1+CV2+CV3}$ . Das VCF hat also die gewünschte 1V/Oktave Charakteristik. Dieses Modul implementiert auf Grund didaktischer Überlegungen eine aus musikalischer Sicht eher nicht benötigte Funktion, nämlich den Hochpass.

Eine Besonderheit des Filters ist die einstellbare Güte, die so hohe Werte erreichen kann, dass das Filter zu Eigenschwingungen mit der entsprechend eingestellten Frequenz angeregt werden kann.

Kurzbeschreibung Synthesizer-Modul			
Name	VCF		
Zweck	Filterung von Audiospannungen, mit steuerbarer Frequenz und einstellbarer Filtergüte mit der Möglichkeit zur Selbstschwingung		
Eingänge	CV1:	Steuerspannung (summierend)	Frequenz
	CV2:	Steuerspannung (summierend)	Frequenz
	IN:	Audiospannung	
Ausgänge	HP OUT:	Hochpass-gefilterte Audiospannung	Audio-
	BP OUT:	Bandpass-gefilterte Audiospannung	Audio-
	TP OUT:	Tiefpass-gefilterte Audiospannung	
Bedienelemente	CV3:	Poti für die Frequenz (summierend)	
	RESONANCE:	Poti für die Güte bzw. Resonanz	

Tabelle 3.3: Kurzbeschreibung des VCF

#### Schaltung

Abbildung 3.7 (S. 30) zeigt die Schaltung des VCF. Der Eingangsteil für die Steuerspannungen, und der Exponentialverstärker um IC1a, T1, IC1C ist bereits vom VCO bekannt. Der Ausgangsstrom des Exponentialverstärkers wird jedoch hier mittels IC1D in einen erdfreien Strom [UT02] S. 797f umgesetzt, der aufgeteilt durch R19 und R20, in die Transkonduktanzverstärker (OTA) von IC2 bzw. IC3 gespeist wird. Da der Ausgang von IC1D nur einige Volt an die negative Versorgungsspannung herankommt, IC3 und IC2 jedoch an ihrem Stromeingängen fasst auf negativem Potential liegen, sorgt D1 für den nötigen Spannungsabfall.

Die Filterung der Audiospannungen geschieht durch Universalfilter, siehe [Wid86a], [Wid86b] und [UT02] S. 860ff. In diesem Fall werden die Integratoren des Universalfilters dadurch steuerbar gemacht, dass sie durch OTA's mit stromgesteuerter Verstärkung ersetzt werden. Da OTA's einen Strom am Ausgang erzeugen, jedoch eine Spannung am Eingang benötigen, werden die Ausgangsströme der OTA's mittels Transimpedanzverstärkern in Spannungen umgewandelt. Der LT1228 enthält eine Kombination aus OTA und Transimpedanzverstärker und liefert in seinem Datenblatt [Lin94] auch eine Schaltung für einen rudimentären VCF, die hier teilweise übernommen wurde.

Die Summierung der beiden Audiospannungen wird von dem Schaltungsteil um IC1B übernommen. Zur Störspannungsminimierung wurde die Eingangsimpedanz mit  $10\text{k}\Omega$  dimensioniert. Die Ausgangsimpedanzen des LT1228 sind genauso wie die des TL084 niedrig.

#### Aufbau

Auf Grundlage der Hinweise von S. 17, der Stückliste (Tabelle 3.4, S.29) und des Bestückungsplans (Tabelle 3.10, S.33) wird die Leiterplatte des VCF bestückt. Der NTC-Widerstand R13 sollte vor dem Transistorpaar LM394 eingelötet und in Richtung des LM394 auf die Platine gebogen werden, so dass er unter den LM394 gelangt.

Die Schaltung wird abgeglichen, indem bei einer CV von 0V die Spannung über R5 mittels TR1 auf 14mV eingestellt wird. Dies entspricht einem Strom durch R4 von  $9,5\mu\text{A}$ .

### 3 Der Modul-Synthesizer

Bauteil	Wert	Bezeichnung	Quelle	Bestell-Nr
<b>Widerstände</b>				
R1, R7	150k	Metallschichtwiderstand 1%		
R2, R6, R8, R10, R15, R16	100k	Metallschichtwiderstand 1%		
R3, R18	2M	Metallschichtwiderstand 1%		
R4, R5, R14, R31, R32	1k	Metallschichtwiderstand 1%		
R9	33k	Metallschichtwiderstand 1%		
R11	5,6k	Metallschichtwiderstand 1%		
R12	12k	Metallschichtwiderstand 1%		
R13	4,7k NTC	NTC Widerstand	Reichelt	NTC-0,2 4,7K
R17	270R	Metallschichtwiderstand 1%		
R19, R20, R22, R25	3,3k	Metallschichtwiderstand 1%		
R21	2,2k	Metallschichtwiderstand 1%		
R23, R24, R28, R33, R34	10k	Metallschichtwiderstand 1%		
R26, R27, R29, R30	100R	Metallschichtwiderstand 1%		
<b>Trimmer</b>				
TR1	5k	Trimmer, 6mm liegend, f. Steckachse	Segor	PT6KV-5k
TR2	10k	Trimmer, 10mm, liegend, f. Steckachse	Segor	PT10MV-10k
TR3	1M	Trimmer, 10mm, liegend, f. Steckachse	Segor	PT10MV-1M
<b>Kondensatoren</b>				
C1, C3	100 $\mu$ F	Miniatur Elko	Reichelt	SM 100/16RAD
C2, C4, C5	1nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	X7R-5 1n
C6, C7	3,3nF	Vielschichtkondensator, RM6	Reichelt	X7R-5 3n3
<b>Spulen</b>				
L1, L2	4,7V ZD	Zenerdiode 0,5W	Reichelt	ZF 4,7
<b>Halbleiter</b>				
D1	1N4148	Universaldiode	Segor	1N 4148
D2	TL084	OP-AMP, Low Noise, JFET, 4-fach	Reichelt	TL084 DIL
T1	LM394CH	NPN Transistorpaar, matched	Reichelt	LM 394 TO
IC1	LT1228	OTA. 1-fach	Segor	LT 1228 CN8
IC2, IC3		Molex-Stecker, 3pol, 2er Set mit Kabel	Conrad	743127
<b>Sonstiges</b>				
J1, J2		1,3mm Lötnagel	Conrad	526274
K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10, K11, K12, K13, K14	10 $\mu$ H	Spule		SMCC 10 $\mu$

Tabelle 3.4: Stückliste zum VCF

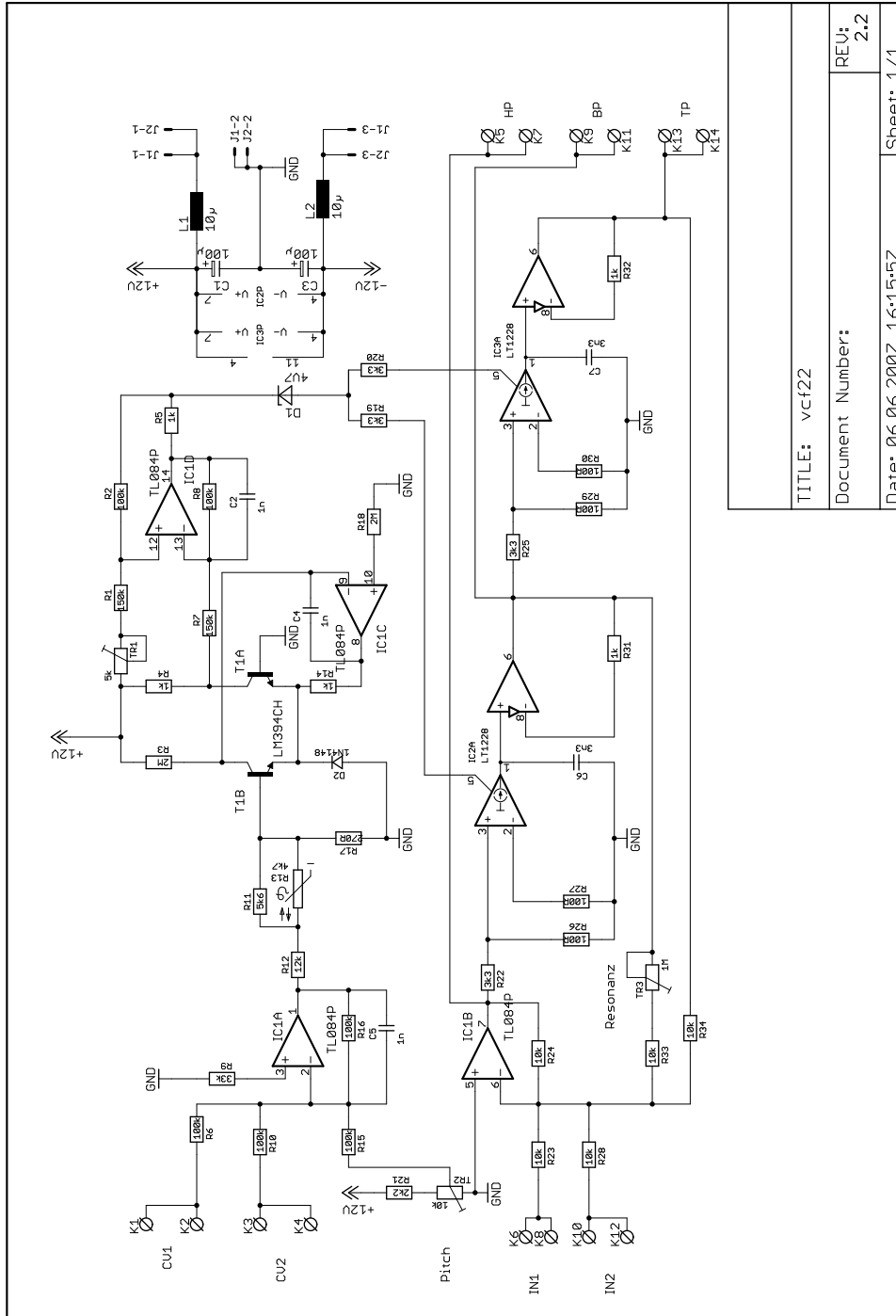


Abbildung 3.7: Schaltung des VCF

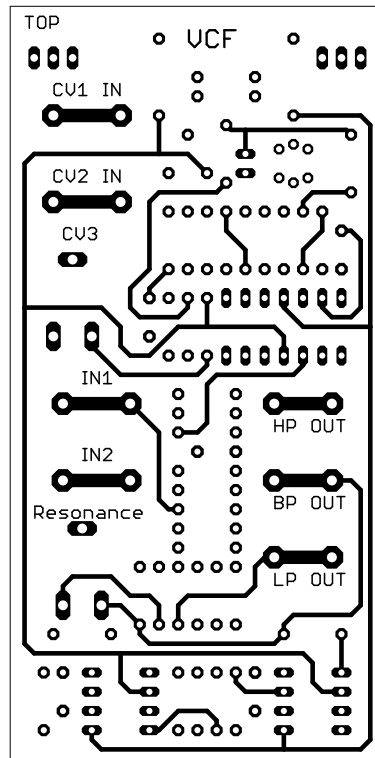


Abbildung 3.8: Layout der Oberseite des VCF

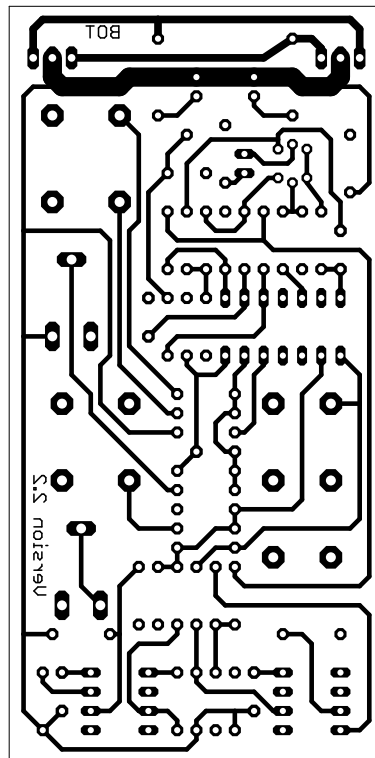


Abbildung 3.9: Layout der Unterseite des VCF



### 3 Der Modul-Synthesizer

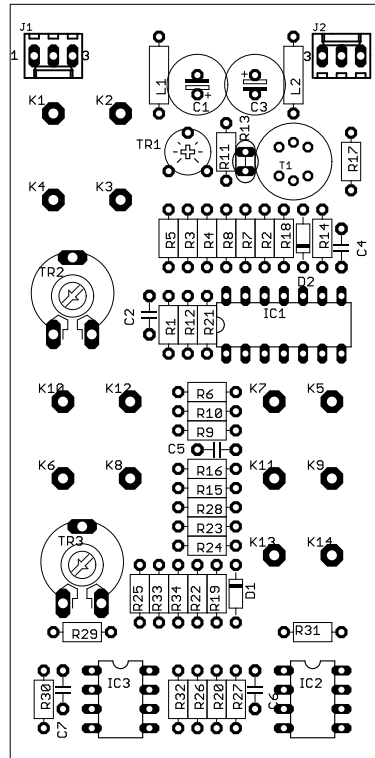


Abbildung 3.10: Bestückungsplan des VCF

### 3 Der Modul-Synthesizer

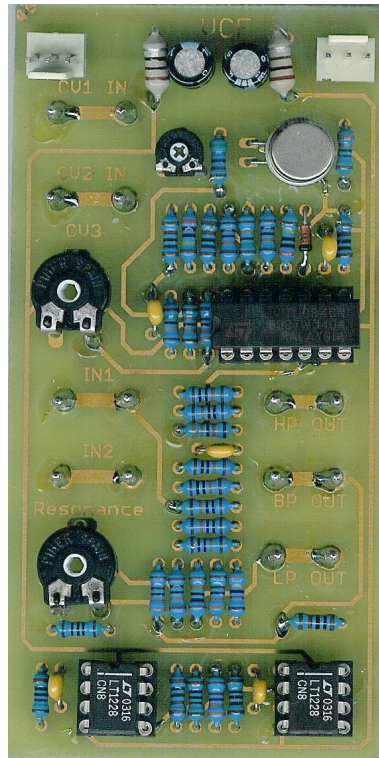


Abbildung 3.11: Ansicht des VCF

### 3.3 VCA

VCA ist die Abkürzung des englischen Begriffs Voltage Controlled Amplifier, übersetzt: Spannungsgesteuerter Verstärker. Der VCA wird z. B. bei der Hüllkurvenmodulation genutzt, indem er als CV eine Spannung vom ADSR bekommt, und die in der Lautstärke zu modulierende Audiospannung auf die Eingänge IN1 oder IN2 gegeben wird. Tremolo-Effekte erhält man, indem man als CV die Spannung des LFO nimmt.

Kurzbeschreibung Synthesizer-Modul	
Name	VCA
Zweck	Spannungsgesteuerte Verstärkung von Steuer- oder Audiospannungen; Summierung von Audio- oder Steuerspannungen
Eingänge	CV1: Steuerspannung Verstärkung (summierend) CV2: Steuerspannung Verstärkung (summierend) IN1: die zu verstärkende Audio- oder Steuerspannung (summierend) IN2: die zu verstärkende Audio- oder Steuerspannung (summierend)
Ausgänge	OUT: Audio- oder Steuerspannung
Bedienelemente	CV3: Poti für die Verstärkung (summierend) GAIN: Gesamtverstärkung (nicht summierend)

Tabelle 3.5: Kurzbeschreibung des VCA

#### Schaltung

Abbildung 3.12 (S. 37) zeigt die Schaltung des VCA. Die Steuerspannungen werden mit IC1B summiert und in die erdfreie Stromquelle [UT02] IC1A gespeist. Diese erzeugt einen zur CV proportionalen Bias-Strom, der die Verstärkung des OTA, IC2A, steuert. Der OTA verträgt nur kleinste Eingangsspannungen, deshalb werden die zu verstärkenden Eingangsspannungen mit dem Summierer IC1C und dem Spannungsteiler aus R15 und R19/TR4 entsprechend herabgesetzt. Der Ausgangsstrom des OTA wird mit dem Strom-Spannungsumsetzer IC1D in eine Ausgangsspannung umgewandelt. Die aktive Strom-Spannungswandlung

### 3 Der Modul-Synthesizer

hat den Vorteil, dass die Impedanzänderungen des OTA-Ausganges bei Änderung seines Bias-Stromes nicht zu ungewollten Knack-Geräuschen führt. Auch bei dem hier verwendeten OTA, dem LM13700, liegt der Bias-Anschluß auf einem Spannungsniveau knapp über der negativen Versorgungsspannung, so dass dem steuernden Operationsverstärker IC1A durch D1 ermöglicht wird einen Strom bis herab zu Null zu erzeugen, obwohl sein Ausgang noch Spannungen von 2-3V über der negativen Schiene hat.

#### **Aufbau**

Auf Grundlage der Hinweise von S. 17, der Stückliste (Tabelle 3.6, S. 38) und des Bestückungsplans (Tabelle 3.15, S. 41) wird die Leiterplatte des VCA bestückt.

Die Schaltung wird in zwei Schritten abgeglichen: Bei maximaler CV, aufgedrehter Gesamtverstärkung und nichtanliegender Steuer- bzw. Audiospannung wird mit TR4 die Ausgangsspannung OUT auf 0V gestellt. Anschließend wird bei einer CV von 0V die Spannung über R5 mittels TR2 auf 0V eingestellt.

### 3 Der Modul-Synthesizer

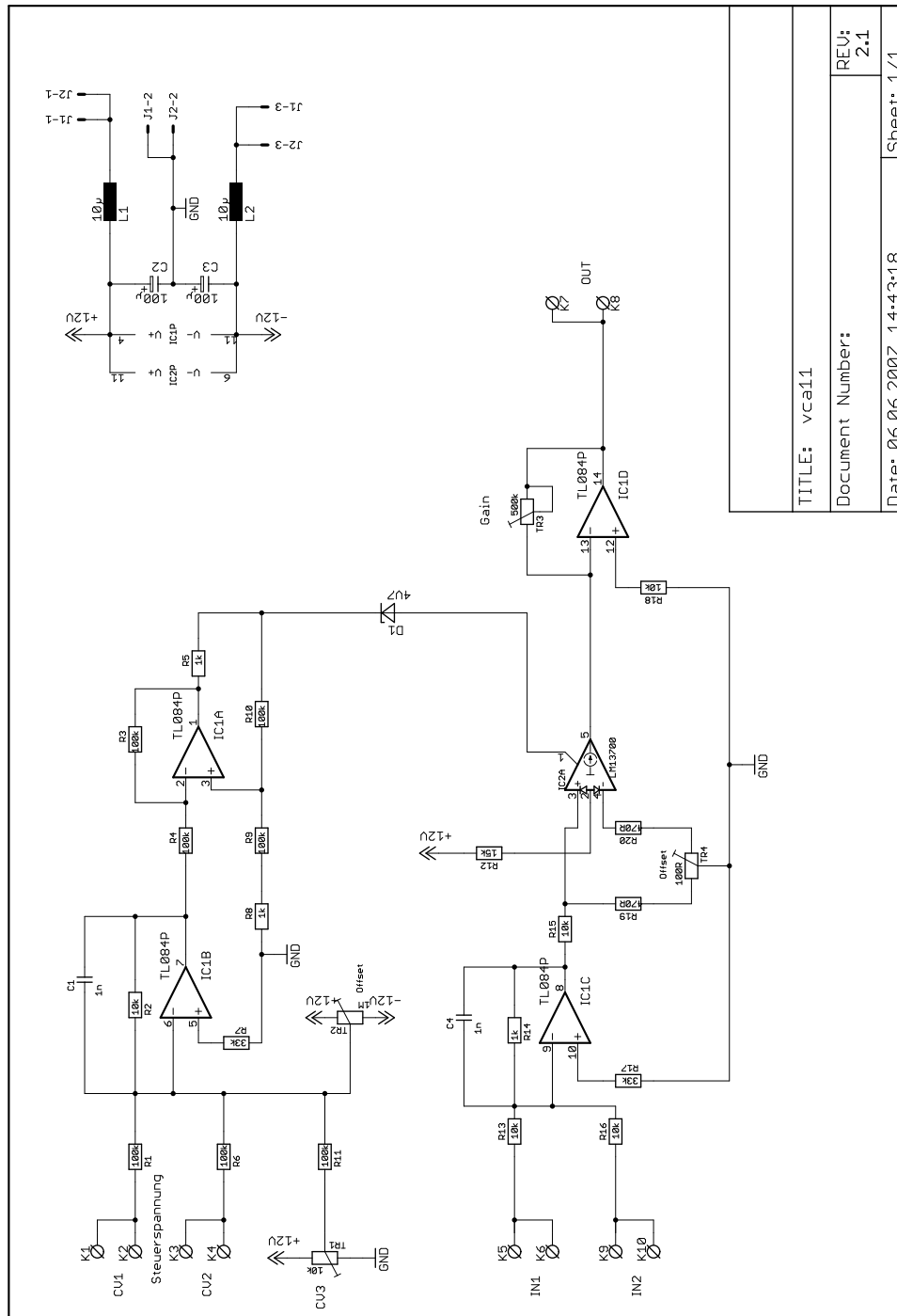


Abbildung 3.12: Schaltung des VCA

### 3 Der Modul-Synthesizer

Bauteil	Wert	Bezeichnung	Quelle	Bestell-Nr
<b>Widerstände</b>				
R1, R3, R4, R6, R9, R10, R11	100k	Metallschichtwiderstand 1%		
R2, R13, R15, R16, R18	10k	Metallschichtwiderstand 1%		
R5, R8, R14	1k	Metallschichtwiderstand 1%		
R7, R17	33k	Metallschichtwiderstand 1%		
R12	15k	Metallschichtwiderstand 1%		
R19, R20	100R	Metallschichtwiderstand 1%		
<b>Trimmer</b>				
TR1	10k	Trimmer, 10mm, liegend, f. Steckachse	Segor	PT10MV-10k
TR2	1M	Trimmer, 6mm liegend, f. Steckachse	Segor	PT6KV-1M
TR3	500k	Trimmer, 10mm, liegend, f. Steckachse	Segor	PT10MV-500k
TR4	100R	Trimmer, 6mm liegend, f. Steckachse	Segor	PT6KV-100R
<b>Kondensatoren</b>				
C1, C4	1nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	X7R-5 1n
C2, C3	100 $\mu$ F	Miniatur Elko	Reichelt	SM 100/16RAD
<b>Spulen</b>				
L1, L2	10 $\mu$ H	Spule		SMCC 10 $\mu$
<b>Halbleiter</b>				
D1	4,7V	Zenerdiode 0,5W	Reichelt	ZF 3,3
IC1	TL084	OP-AMP, Low Noise, JFET, 4-fach	Reichelt	TL084 DIL
IC2	LM13700	OTA, 2-fach	Segor	LM 13700 N
<b>Sonstiges</b>				
J1, J2		Molex-Stecker, 3pol, 2er Set mit Kabel	Conrad	743127
K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9, K10		1,3mm Lötnagel	Conrad	526274

Tabelle 3.6: Stückliste zum VCA

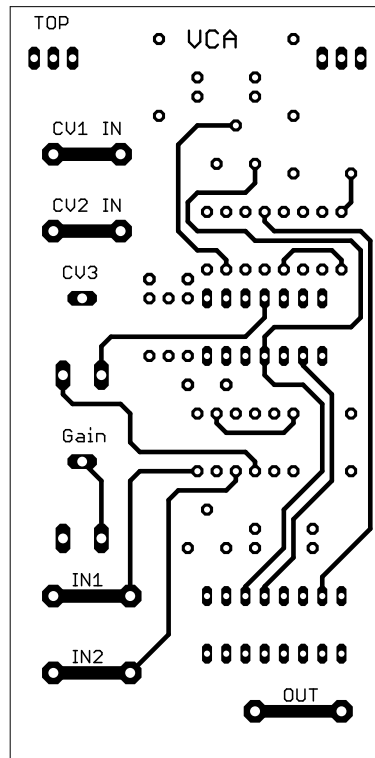


Abbildung 3.13: Layout der Oberseite des VCA

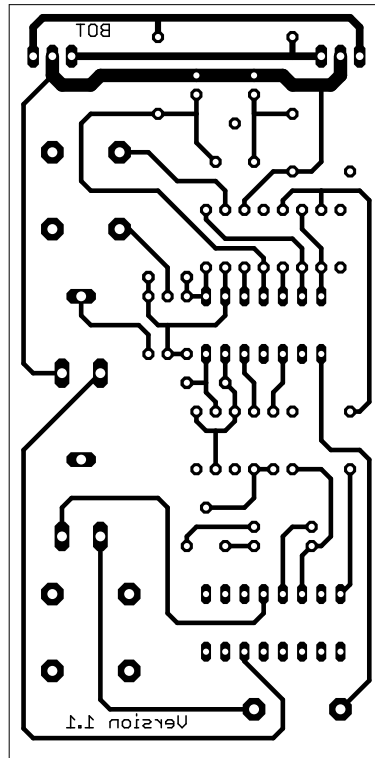


Abbildung 3.14: Layout der Unterseite des VCA



### 3 Der Modul-Synthesizer

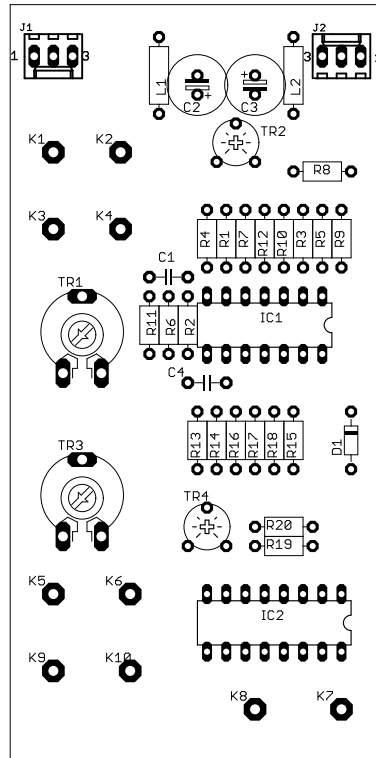


Abbildung 3.15: Bestückungsplan des VCA

### 3 Der Modul-Synthesizer

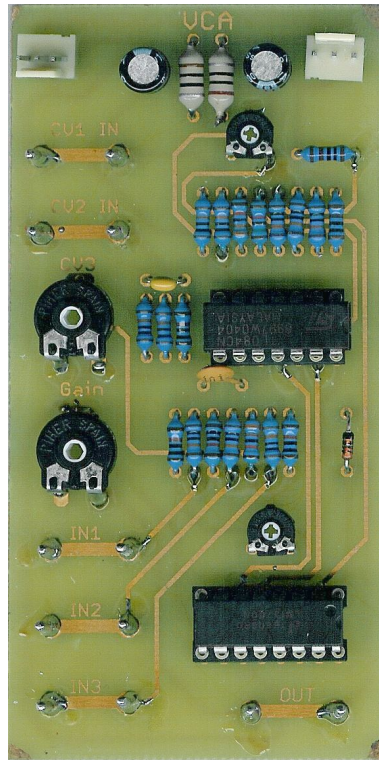


Abbildung 3.16: Ansicht des VCA

### 3.4 LFO

LFO ist die Abkürzung des englischen Begriffs Low Frequency Oszillator übersetzt: Niedrig-Frequenz-Oszillator. Der LFO erzeugt Steuerspannungen, die zur Modulation der Lautstärke oder der Frequenz einer Audiospannung geeignet sind. Dies erfolgt im Falle der Lautstärk modulation mit Hilfe des VCA und im Falle der Frequenzmodulation über Einspeisung in einen der CV-Eingänge des VCO. Dieser VCO erzeugt Frequenzen im Bereich von ca. 0,3Hz -10Hz. Auch mit Blick auf die Didaktik wurde eine Einstellmöglichkeit für den Kurvenverlauf der Steuerspannung vorgesehen. Der Signalverlauf läßt sich stufenlos vom ansteigendem Sägezahn über Dreieck bis abfallendem Sägezahn einstellen, siehe Abbildung 3.17.

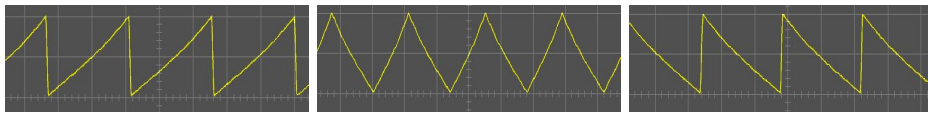


Abbildung 3.17: Kurvenformen des LFO

Kurzbeschreibung Synthesizer-Modul	
Name	LFO
Zweck	Erzeugung von sägezahn- oder dreieckförmiger Steuerspannungen, zur Frequenz- und Amplitudenmodulation
Eingänge	keine
Ausgänge	OUT: Steuerspannung (z. B. für VCO oder VCA)
Bedienelemente	PITCH: Poti für die Frequenz SHAPE: Poti für den Kurvenverlauf LEVEL: Poti für die Amplitude

Tabelle 3.7: Kurzbeschreibung des LFO

#### Schaltung

Abbildung 3.18 (S. 46) zeigt die Schaltung des LFO. Im Mittelpunkt der Schaltung steht ein Integrator um IC2C, dessen Ausgang die Steuerspannung mit den gewünschten Kurvenformen liefert. Dieser Integrator wird entweder mit einer positiven Spannung, Analogschalter IC4B geschlossen, oder einer negativen

### 3 Der Modul-Synthesizer

Spannung, Analogschalter IC2B geschlossen, gespeist. Die eingespeiste Spannung wird mittels R9 in einen Strom umgewandelt, denn genau genommen wird ein Strom zu einer Spannung integriert. Dabei ist die Ausgangsspannung des Integrators proportional zum Betrag der angelegten Spannung der Zeit und der reziproken Kapazität von C. Dies geht unmittelbar aus der Definition von Ladung:  $\Delta Q = I \Delta t$  und Kapazität:  $C = \frac{Q}{U}$  hervor. Die Summe der Beträge der positiven und der negativen Spannung werden mit TR1 eingestellt. Da TR1 die Summe der Beträge aus positiver und negativer Eingangsspannung einstellt, ändert er nur die Frequenz, nicht jedoch den Kurvenverlauf. Möchte man das Verhältnis der Dauer von abfallender zu ansteigender Flanke ändern, so muss man das Verhältnis von positiver zur negativer Integratorspannung ändern, dies bewerkstelligt TR2 [UT02] S. 895.

Jetzt müssen nur noch die beiden Analogschalter IC4B und IC4C immer dann entsprechend geschaltet werden, wenn der Integrator-Ausgang auf 0V abgefallen oder wenn der Integrator-Ausgang einen festen positiven Wert erreicht. Dies erledigt die Präzisionskomparator-Schaltung mit IC1A, IC1B und den, zu einem Flip-Flop konfigurierten, Analogschaltern IC4A und IC4D. Leider ließ sich hierfür nicht direkt der bekannte 555 verwenden, da er die untere Schaltschwelle nicht auf 0V, sondern auf  $1/3U_B$  hat. Zu beachten ist, dass das Analogschalter IC ein LV4966 ist. Ein gewöhnlicher 4066 hat nicht den benötigten Versorgungsspannungsbereich von  $\pm 12V$ .

Damit die Amplitude des LFO zwischen 0V und ca. 10V einstellbar ist, wurde IC2D in die Schaltung aufgenommen. Man hätte auch die obere Schaltschwelle des Komparators einstellbar machen können, dies hätte jedoch bei kleinen Amplituden eine erhebliche Zunahme von Verzerrungen und Ungenauigkeiten zur Folge. Ursache ist das nicht perfekte Flip-Flop aus Analogschaltern und die nicht-linearen Spannungsabfälle an den Analogschaltern IC4C und IC4B. Bei genauer Betrachtung der Signale in Abbildung 3.17 fällt deshalb ein leichtes *Durchhängen* der Kurven auf.

#### Aufbau

Auf Grundlage der Hinweise von S.17, der Stückliste (Tabelle 3.8, S.45) und des Bestückungsplans (Tabelle 3.21, S.49) wird die Leiterplatte des LFO bestückt. Die Schaltung erfordert keinen Abgleich.

### 3 Der Modul-Synthesizer

Bauteil	Wert	Bezeichnung	Quelle	Bestell-Nr
<b>Widerstände</b>				
R1, R4, R5, R7, R9, R13, R14	10k	Metallschichtwiderstand 1%		
R2, R8, R11	1k	Metallschichtwiderstand 1%		
R3, R10	100k	Metallschichtwiderstand 1%		
R12	47R	Metallschichtwiderstand 1%		
R15	15k	Metallschichtwiderstand 1%		
<b>Trimmer</b>				
TR1, TR3	10k	Trimmer, 10mm, liegend, f. Steckachse	Segor	PT10MV-10k
TR2	1M	Trimmer, 10mm, liegend, f. Steckachse	Segor	PT10MV-1M
<b>Kondensatoren</b>				
C1, C2, C5	100nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	X7R-5 100n
C3	1nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	X7R-5 1n
C4, C6	100 $\mu$ F	Miniatur Elko	Reichelt	SM 100/16RAD
<b>Spulen</b>				
L1, L2	10 $\mu$ H	Spule	Reichelt	SMCC 10 $\mu$
<b>Halbleiter</b>				
ZD1	LM329	6,9V Präzisions Zenerdiode	Segor	LM 329 DZ
IC1	LM393	Komparator, 2-fach	Reichelt	LM 393 DIP
IC2	TL084	OP-AMP, Low Noise, JFET, 4-fach	Reichelt	TL084 DIL
IC3	LC4966	Analogumschalter, 4-fach, $\pm 15$ V	Reichelt	LC 4966
<b>Sonstiges</b>				
J1, J2		Molex-Stecker, 3pol, 2er Set mit Kabel	Conrad	743127
K1, K2		1,3mm Lötnagel	Conrad	526274

Tabelle 3.8: Stückliste zum LFO

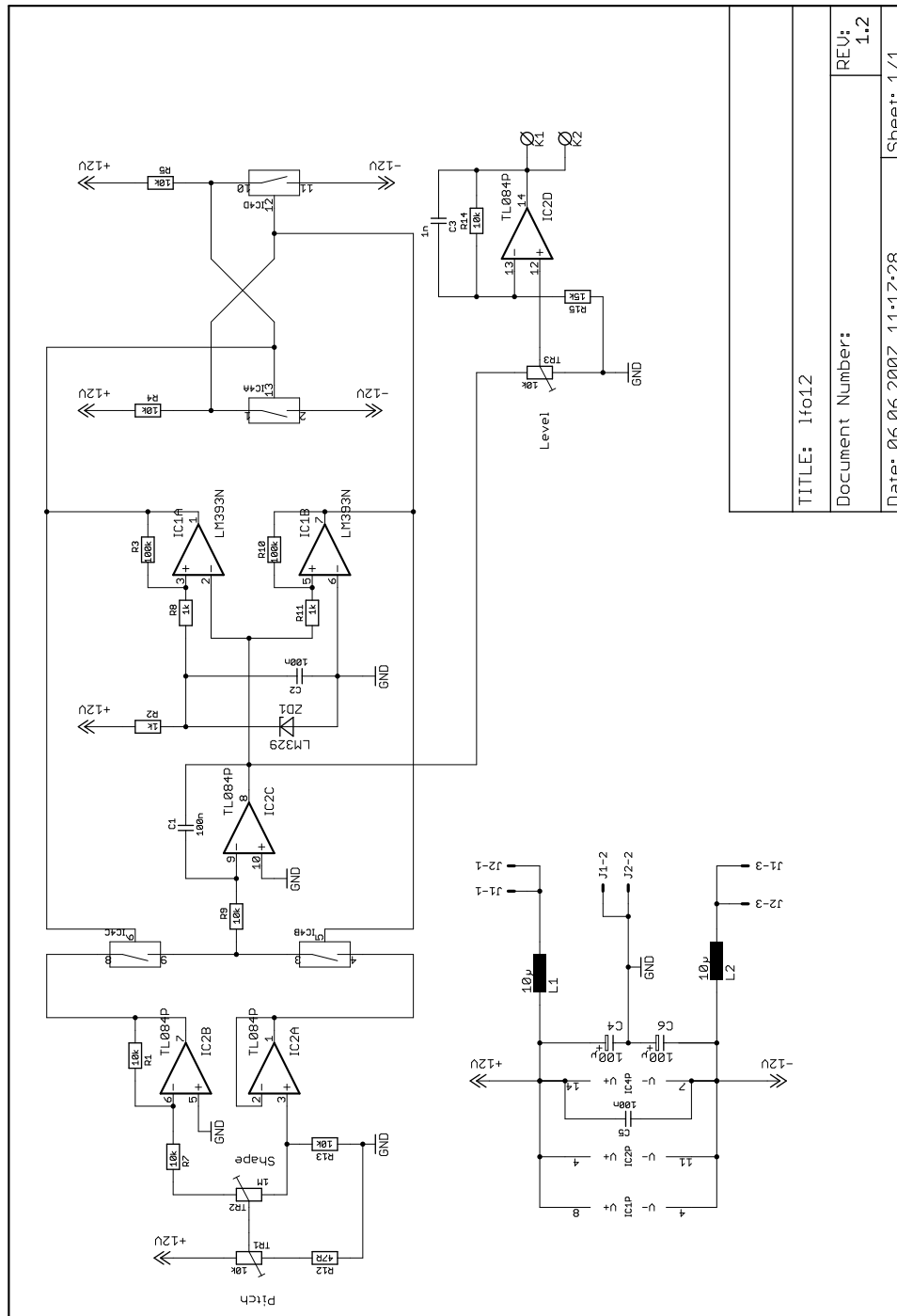


Abbildung 3.18: Schaltung des LFO

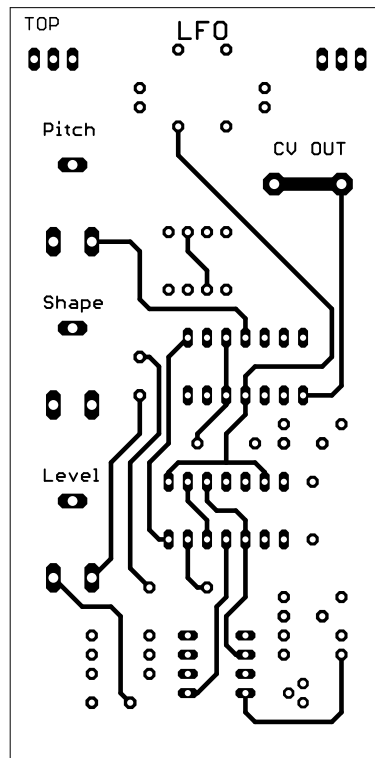


Abbildung 3.19: Layout der Oberseite des LFO

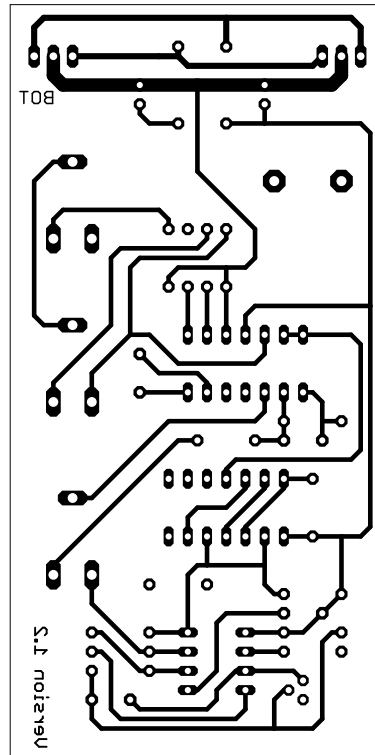


Abbildung 3.20: Layout der Unterseite des LFO



### 3 Der Modul-Synthesizer

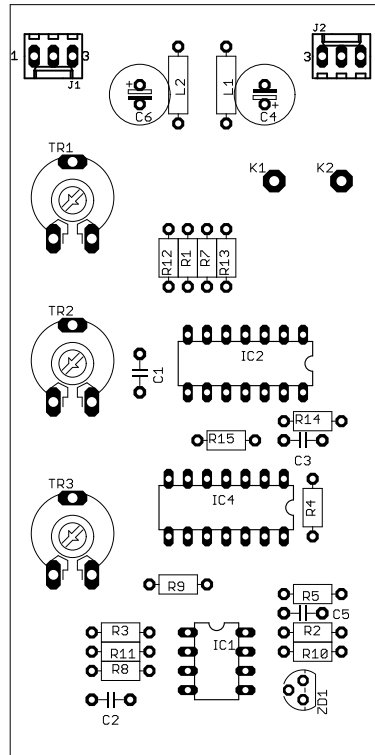


Abbildung 3.21: Bestückungsplan des LFO

### 3 Der Modul-Synthesizer

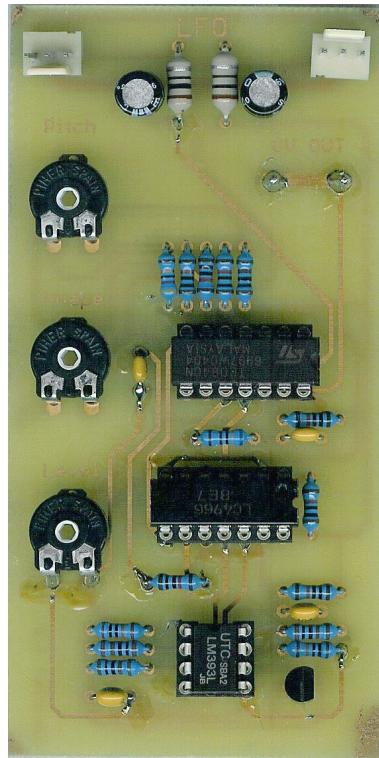


Abbildung 3.22: Ansicht des LFO

### 3.5 ADSR

Der ADSR erzeugt eine sich zeitlich ändernde Steuerspannung CV OUT, die für einen Lautstärkeverlauf nach dem Betätigen einer Klaviaturtaste genutzt werden kann. Eigentlich müßte dieses Modul Envelope Generator (dt. Hüllkurvengenerator) heißen. man verwendet jedoch die Abkürzung ADSR, weil diese 4 Buchstaben für die 4 einstellbaren Parameter dieses Moduls stehen: **A**ttack (Anstiegszeit), **D**ecay (Abfallzeit), **S**ustain (Halte-Niveau) und **R**elease (Loslass-Zeit). Das Diagramm 3.23 beschreibt den Verlauf der Hüllkurve. Das Oszillogramm der Abbildung 3.24 stellt den Verlauf der Steuer- und Gatespannungen des ADSR Moduls dar.

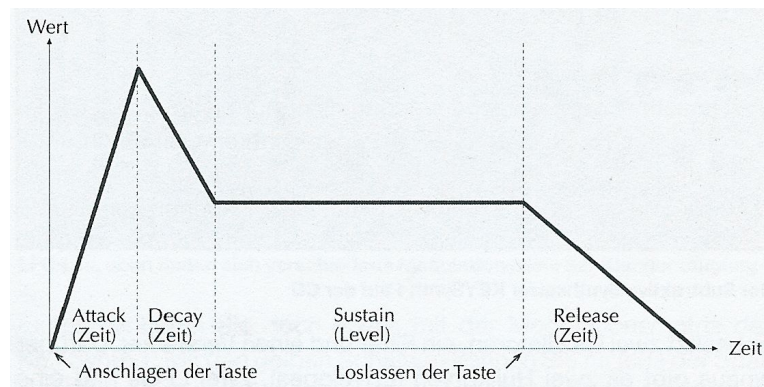


Abbildung 3.23: Schematische Darstellung einer ADSR-Hüllkurve,  
Quelle [Hoe06] S.19

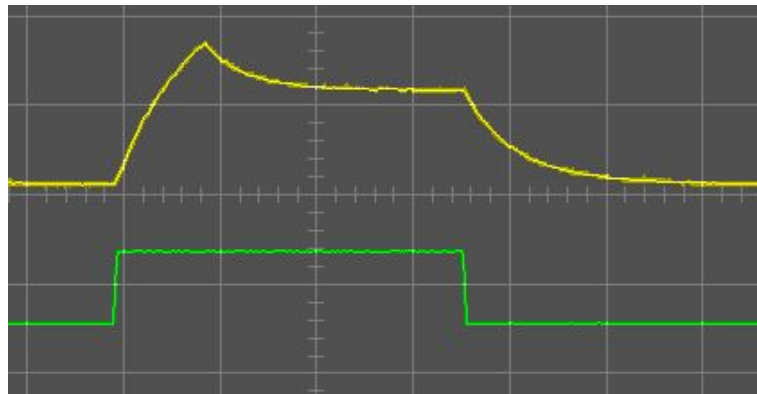


Abbildung 3.24: Oszillogramm des ADSR, oben: CV OUT, unten: GATE

### 3 Der Modul-Synthesizer

Kurzbeschreibung Synthesizer-Modul	
Name	ADSR
Zweck	Erzeugung einer Steuerspannung zur Frequenz- und Amplitudenmodulation
Eingänge	GATE: Bei Übergang von 0V auf ca. 1V wird der Hüllkurven-Zyklus gestartet.
Ausgänge	OUT: Steuerspannung (z. B. für VCA, VCF oder VCO)
Bedienelemente	A: Poti für die Attack-Dauer D: Poti für die Decay-Dauer S: Poti für den Sustain-Level R: Poti für die Release-Dauer
Cave!	Ist der Sustain-Level auf Null, so hat Release keine Wirkung. Ist der Sustain-Level auf Maximum, so hat Decay keine Wirkung.

Tabelle 3.9: Kurzbeschreibung des ADSR

## Schaltung

Abbildung 3.25 (S. 55) zeigt die Schaltung des ADSR. Die Idee der Schaltung wurde einer Internetquelle [Scha] entnommen. Kernstück ist der Präzisionskomparator oder auch Timer genannte NE555. Hier wird jedoch die CMOS-Variante TLC555 [Ins05] verwendet, da andernfalls die Ströme aus den Eingängen zu Ungenauigkeiten führen. Die Schaltung lädt und entlädt Kondensator C6 über die drei einstellbaren Widerstände TR1, TR2 und TR4. TR3 ist als einstellbarer Spannungsteiler, dessen Massepunkt schaltbar ist, ausgelegt. IC1, T1 und IC2B sorgen nun dafür, dass die Lade- bzw. Entladepotis zu den richtigen Zeitpunkten eingesetzt werden.

Geht die Spannung am Gate-Eingang über ca. 1V, wird T1 nichtleitend, dadurch wird eine Entladung von C6 über das Release-Poti beendet, gleichzeitig geht der Reset (Pin 4 des 555) auf high, so dass der kurze negative Impuls der zeitgleich durch C3 und D4 am Trigger (Pin 2 des 555) erscheint, den Ausgang Pin 3 high schaltet. Dadurch kann C6 über das Attack-Poti geladen werden. Da der Discharge Pin 7 offen ist liegt das Decay-Poti auf high und kann C6 nicht über D2 entladen. Ebenso ist das Release-Poti nicht in der Lage C6 über D3 zu entladen, da es ebenfalls aufgrund fehlenden Massepotentials voll high ist.

Hat sich C6 auf 2/3 der Versorgungsspannung aufgeladen, detektiert dies der

### 3 Der Modul-Synthesizer

555 über den Threshold Pin 6 und schaltet seinen Ausgang Pin 3 sowie seinen Discharge Pin 7 gegen Masse. Ersteres verhindert weiteres Aufladen von C6 über das Attack-Poti, zweites zieht den Spannungsteiler TR3 herunter und sorgt für ein Teilentladen von C6 über das Decay-Poti auf den vom Sustain-Poti eingestellten Wert. R1 sorgt übrigens dafür, dass der Sustain-Level auf jeden Fall unter  $2/3$  der Versorgungsspannung liegt, dies ist ja, die gerade angesprochene, vom 555 festgelegte Threshold-Spannung.

Geht nun die Spannung am Gate-Eingang wieder unter 1V, so sorgt der nun leitende T1 für die Restentladung von C6 über das Release-Poti. Außerdem versetzt er den 555 in den Reset-Zustand, so dass Pin 3 und Pin 7 auf jeden Fall low bleiben und C6 nicht geladen wird.

Die mittels IC2A gepufferte Spannung von C6 wird schließlich an den Ausgang gegeben.

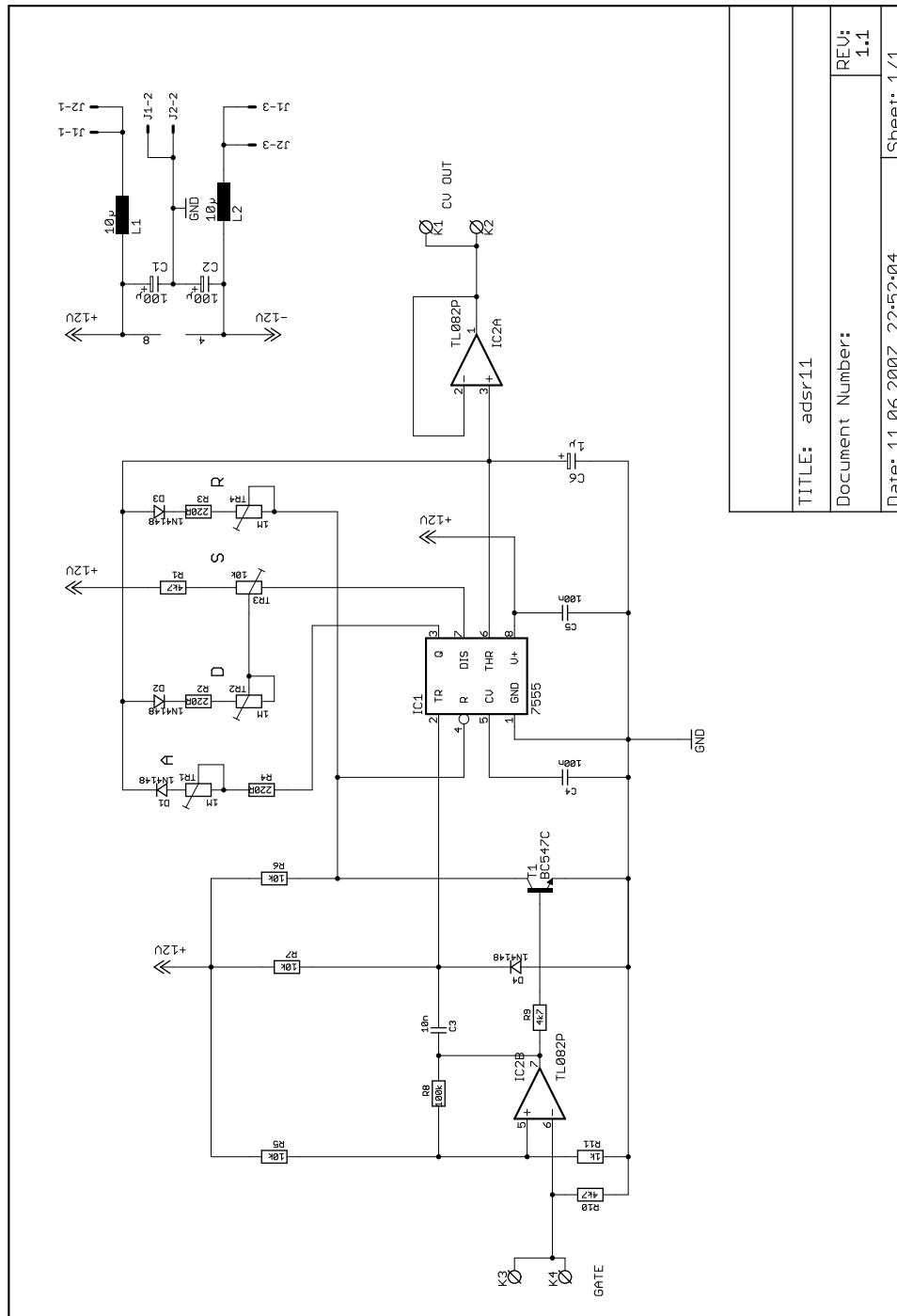
#### Aufbau

Auf Grundlage der Hinweise von S. 17, der Stückliste (Tabelle 3.10, S. 54) und des Bestückungsplans (Tabelle 3.28, S. 58) wird die Leiterplatte des ADSR bestückt. Die Schaltung erfordert keinen Abgleich.

### 3 Der Modul-Synthesizer

Bauteil	Wert	Bezeichnung	Quelle	Bestell-Nr
<b>Widerstände</b>				
R1, R9, R10	4,7k	Metallschichtwiderstand 1%		
R11	1k	Metallschichtwiderstand 1%		
R2, R3, R4	220R	Metallschichtwiderstand 1%		
R5, R6, R7	10k	Metallschichtwiderstand 1%		
R8	100k	Metallschichtwiderstand 1%		
<b>Trimmer</b>				
TR1, TR2, TR4	1M	Trimmer, 10mm, liegend, f. Steckachse	Segor	PT10MV-1M
TR3	10k	Trimmer, 10mm, liegend, f. Steckachse	Segor	PT10MV-10k
<b>Kondensatoren</b>				
C1, C2	100 $\mu$ F	Miniatur Elko	Reichelt	SM 100/16RAD
C3	10nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	X7R-5 10n
C4, C5	100nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	X7R-5 100n
C6	1 $\mu$ F	Miniatur Elko	Reichelt	SM 1,0/63RAD
<b>Spulen</b>				
L1, L2	10 $\mu$ H	Spule	Reichelt	SMCC 10 $\mu$
<b>Halbleiter</b>				
D1, D2, D3, D4	1N4148	Universaldiode	Reichelt	1N 4148
T1	BC547C	Standard NPN-Transistor	Reichelt	BC 547C
IC1	TLC555	CMOS-Timer	Reichelt	ICM 7555
IC2	TL082	OP-AMP, Low Noise, JFET, 2-fach	Reichelt	TL082 DIL
<b>Sonstiges</b>				
J1, J2		Molex-Stecker, 3pol, 2er Set mit Kabel	Conrad	743127
K1, K2, K3, K4		1,3mm Lötnagel	Conrad	526274

Tabelle 3.10: Stückliste zum ADSR



TITLE: adsr11

Document Number:

REV:  
1.1

Sheet: 1/1

Date: 11.06.2007 22:52:04

Abbildung 3.25: Schaltung des ADSR

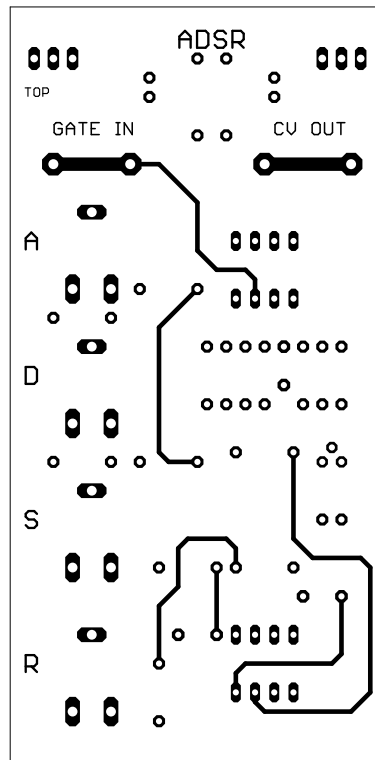


Abbildung 3.26: Layout der Oberseite des ADSR



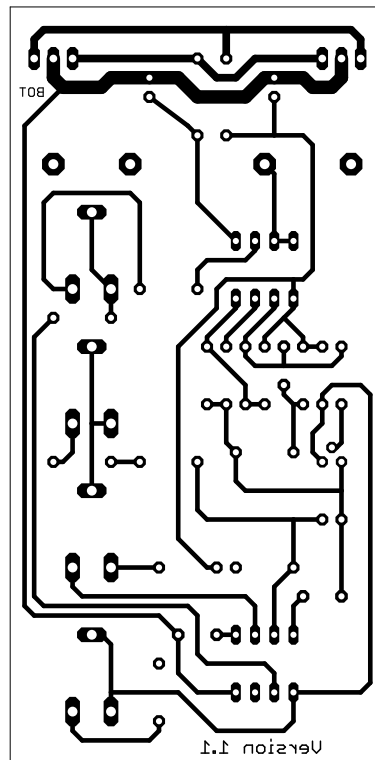


Abbildung 3.27: Layout der Unterseite des ADSR

### 3 Der Modul-Synthesizer

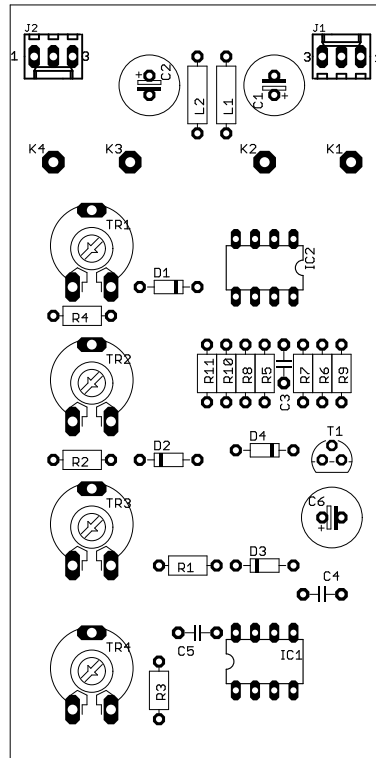


Abbildung 3.28: Bestückungsplan des ADSR

### 3 Der Modul-Synthesizer

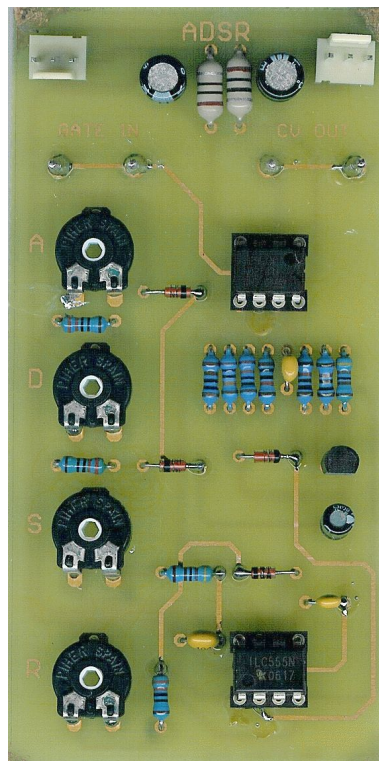


Abbildung 3.29: Ansicht des ADSR

### 3.6 Rauschgenerator

Der Einsatz eines Rauschgenerators mag zunächst überraschen, Rauschen ist allgemein eher als ungewolltes Nebenprodukt der Audiowiedergabe bekannt. Tatsächlich lassen sich viele Geräusche und auch Klänge von einer Rauschspannung ableiten. Dieser Rauschgenerator liefert *Weißes Rauschen*, welches in der Amplitude über alle Frequenzen konstant ist und *Rosa Rauschen*, welches über den hörbaren Frequenzbereich einen reziproken Amplitudenabfall hat, so dass in jeder Oktave eine annähernd gleiche Leistung erbracht wird.

Kurzbeschreibung Synthesizer-Modul			
Name	Noise		
Zweck	Erzeugung einer Audiospannung: Rauschen		
Eingänge	keine		
Ausgänge	WHITE NOISE:	Audiospannung:	Weißes Rauschen
	PINK NOISE:	Audiospannung:	Rosa rauschen
Bedienelemente	LEVEL:	Poti für die Amplitude	

Tabelle 3.11: Kurzbeschreibung des Rauschgenerators

#### Schaltung

Abbildung 3.30 (S. 62) zeigt die Schaltung des Rauschgenerators. Als Rauschquelle dient die Basis-Emitter Strecke von T1, die in Umkehrrichtung als Z-Diode geschaltet ist [nn79]. Die folgende Transistorstufe mit T2 verstärkt das Signal, so dass es über C4 ausgekoppelt und mit TR1 in der Amplitude eingestellt werden kann. Der Operationsverstärker IC1A verstärkt das Signal nochmals, stellt das Signal niederohmig am Ausgang zur Verfügung und filtert dabei hohe Frequenzanteile aus, da der Rauschgenerator sonst bis in den HF-Bereich hinein arbeiten würde. Der Amplitudenabfall für das Rosa-Rauschen wird mit einem RC-Netzwerk (R6,R8,R9,R19, C5-C8) hinreichend genau nachgebildet [nn99]. Da durch die Filterung der Pegel absinkt, hebt IC1B diesen wieder an und stellt das Signal ebenfalls niederohmig an einem Ausgang zur Verfügung. Eine Bemerkung noch zu C9, er filtert in Zusammenspiel mit R3 mögliche Brummspannung aus, denn diese würde ca. 1000-fach verstärkt.

## Aufbau

Auf Grundlage der Hinweise von S.17, der Stückliste (Tabelle 3.12, S.61) und des Bestückungsplans (Tabelle 3.33, S. 49) wird die Leiterplatte des Rauschgenerators bestückt. Die Schaltung erfordert keinen Abgleich.

Bauteil	Wert	Bezeichnung	Quelle	Bestell-Nr
<b>Widerstände</b>				
R1, R4	1k	Metallschichtwiderstand 1%		
R2, R5, R9	10k	Metallschichtwiderstand 1%		
R3	5,6k	Metallschichtwiderstand 1%		
R6	46k	Metallschichtwiderstand 1%		
R7	56k	Metallschichtwiderstand 1%		
R8, R10	33k	Metallschichtwiderstand 1%		
<b>Trimmer</b>				
TR1	100k	Trimmer, 10mm, liegend, f. Steckachse	Segor	PT10MV-100k
<b>Kondensatoren</b>				
C1, C3	100pF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	NPO-5 100P
C2, C4, C10	100µF	Miniatur Elko	Reichelt	SM 100/16RAD
C5	10nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	X7R-5 10n
C6	15nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	Z5U-5 15N
C7	27nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	
C8	100nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	X7R-5 100n
C9	10µF	Miniatur Elko	Reichelt	SM 10/16RAD
<b>Spulen</b>				
L1, L2	10µH	Spule	Reichelt	SMCC 10µ
<b>Halbleiter</b>				
T1, T2	BC547C	Standard NPN-Transistor	Reichelt	BC 547C
IC1	TL082	OP-AMP, Low Noise, JFET, 2-fach	Reichelt	TL082 DIL
<b>Sonstiges</b>				
J1, J2		Molex-Stecker, 3pol, 2er Set mit Kabel	Conrad	743127
K1, K2, K3, K4		1,3mm Lötnagel	Conrad	526274

Tabelle 3.12: Stückliste zum Rauschgenerator

### 3 Der Modul-Synthesizer

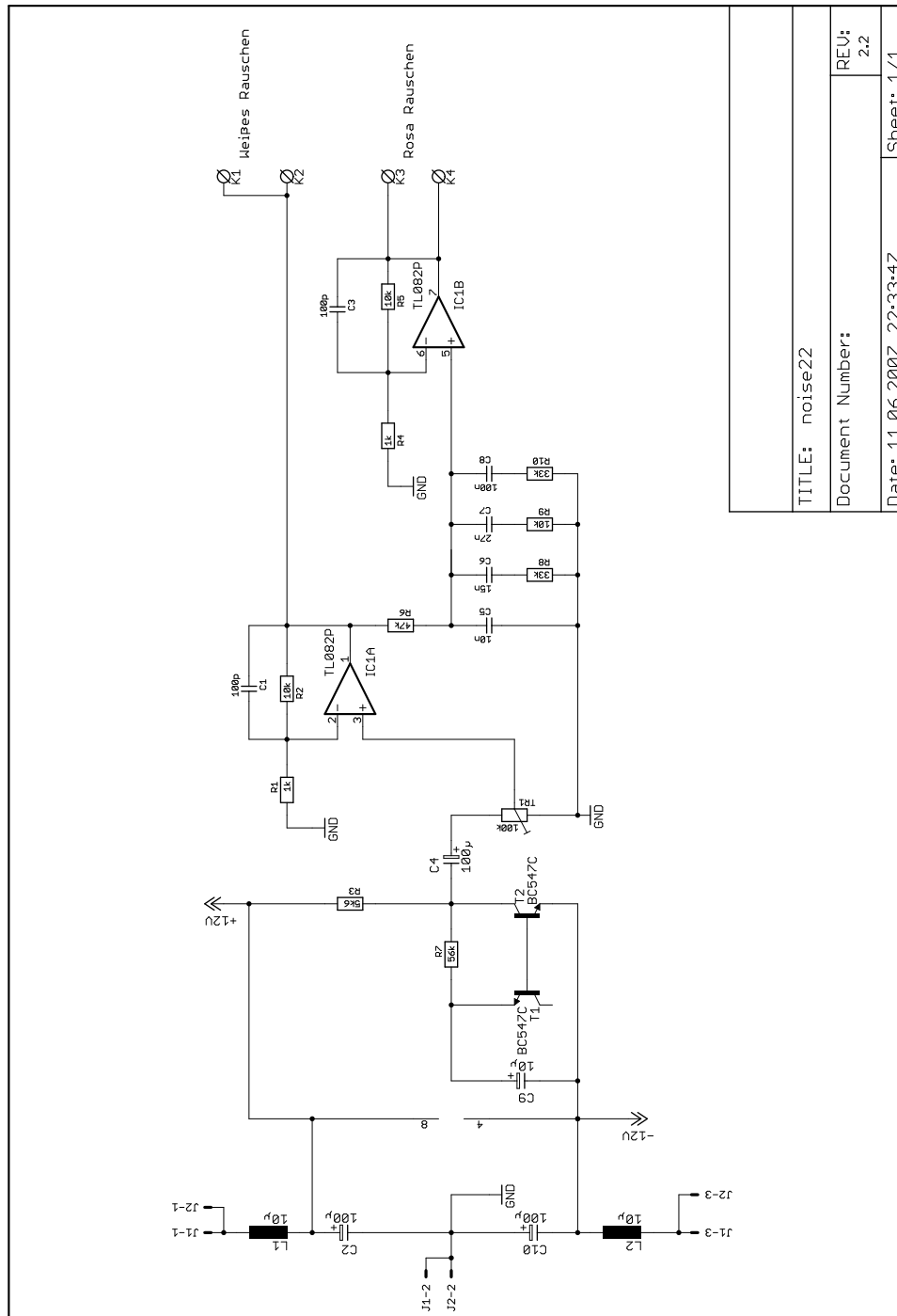


Abbildung 3.30: Schaltung des Rauschgenerators

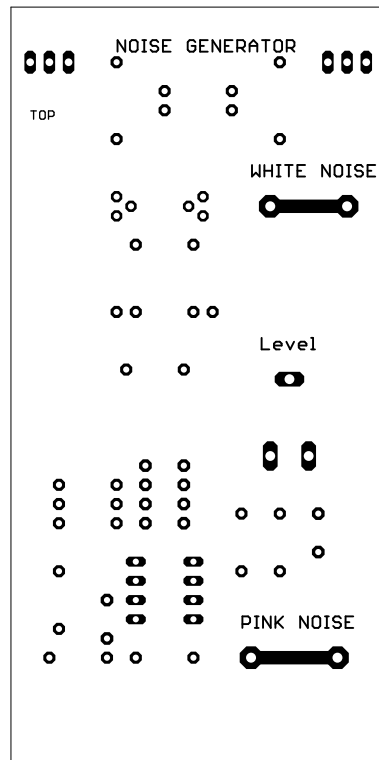


Abbildung 3.31: Layout der Oberseite des Rauschgenerators

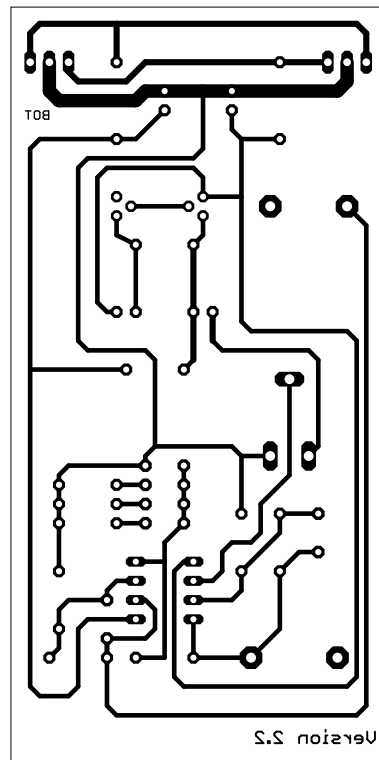


Abbildung 3.32: Layout der Unterseite des Rauschgenerators



### 3 Der Modul-Synthesizer

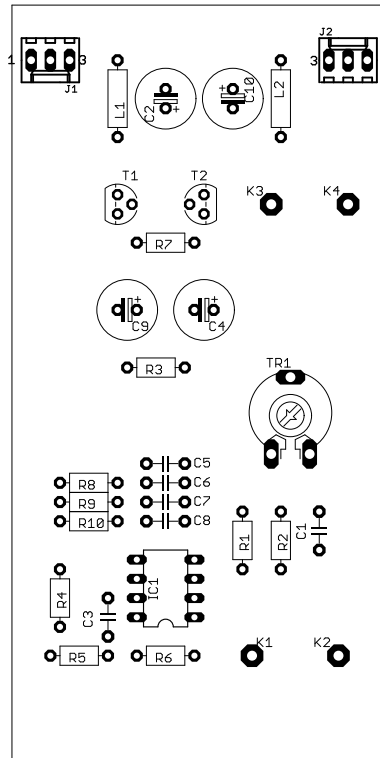


Abbildung 3.33: Bestückungsplan des Rauschgenerators

### 3 Der Modul-Synthesizer

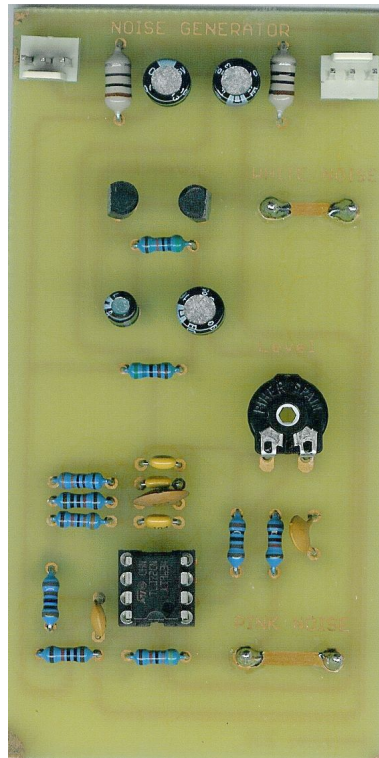


Abbildung 3.34: Ansicht des Rauschgenerators

### 3.7 Klaviatur

Die Klaviatur dient dazu, Steuerspannungen für den VCO oder VCF zu erzeugen, die einer Tonleiter entsprechen. Um Nachklingeffekte zu ermöglichen, wird die Steuerspannung auch nach dem Loslassen der Taste weitergeliefert. Außerdem erzeugt das Modul eine positive Steuerspannung während eines Tastendrucks.

Kurzbeschreibung Synthesizer-Modul	
Name	Keyboard
Zweck	Erzeugung einer Steuerspannung, die eine Tonleiter erzeugen kann
Eingänge	keine
Ausgänge	CV OUT: Steuerspannung für VCO oder VCF GATE OUT: Steuerspannung die beim Drücken einer Taste von 0V auf 10V wechselt
Bedienelemente	13 Tasten, entsprechend einer Klaviatur für eine Oktave

Tabelle 3.13: Kurzbeschreibung der Klaviatur

### Schaltung

Abbildung 3.35 (S. 69) zeigt die Schaltung der Klaviatur. Ein Spannungsteiler aus 12 gleichen Widerständen und den beiden Potis TR1 und TR2 wird über eine Präzisions-Zenerdiode mit konstanter Spannung versorgt. Der oberste Punkt des Spannungsteilers wird auf 4V, der untere auf 3V abgeglichen. Nun können die Spannungen, die eine Tonleiter repräsentieren, über Taster auf den Eingang von IC1D gegeben werden. R22 sorgt dafür, dass die Spannung am Eingang von IC1D nach Loslassen einer Taste auch wieder auf Null geht, ohne dabei den Spannungsteiler nennenswert zu belasten. C6 glättet ein Tastenprellen. IC1B ist ein Komparator, dessen Ausgang High wird, sobald die Spannung an seinem positiven Eingang über ca. 120mV steigt. Dies passiert bei jedem Tastendruck, deshalb wird dieses Signal als Gate-Signal am Ausgang GATE OUT zur Verfügung gestellt. D3 lässt diesen Ausgang nicht negativ werden.

Das Gate-Signal wird mittels C3 differenziert und als Nadelimpuls am Ausgang von IC1A bereitgestellt. D2 begrenzt die Spannung am Eingang von IC1A,

da diese sonst Versorgungsspannungsniveau erreicht, welches der Operationsverstärker mit Fehlverhalten quittiert. Damit aber beim schlagartigen Leitendwerden von D1 der resultierende Nadelimpuls nicht zu schmal wird, verlängert R14 diesen Prozess. Dieser Nadelimpuls wird jetzt dazu genutzt, um beim Drücken einer Taste einen Kondensator auf die, der Taste entsprechenden Spannung, zu laden. Greift man diese Spannung sehr hochohmig ab, so kann man sie auch noch nach Loslassen der Taste dem Ausgang zu Verfügung stellen. T1 ist ein N-JFET, welcher leitend ist wenn sein Gate auf Source-Potential liegt (Selbstleitung). Der Ausgang des Komparators IC1A ist negativ und zieht mittels D1 das Gate von T1 auf unter  $-7V$ , so dass er sperrt. Erst im Augenblick des Tastendrucks sorgt der Nadelimpuls für ein kurzzeitiges Leiten von T1. Da T1 Strom in beiden Richtungen leiten kann, wird C2 nun, auf die der Taste entsprechenden Spannung, auf- bzw. entladen. Dem sehr hochohmigen Eingang von IC1C ist zu verdanken, dass die Spannung am Kondensator C2 über einen längeren Zeitraum hinreichend konstant an den Ausgang gegeben wird.

#### Aufbau

Auf Grundlage der Hinweise von S. 17, der Stückliste (Tabelle 3.12, S. 61) und des Bestückungsplans (Tabelle 3.33, S. 65) wird die Leiterplatte des Rauschgenerators bestückt. Die fertige Schaltung wird wie folgt abgeglichen:

1. Voltmeter an CV OUT anlegen.
2. Tiefes C drücken.
3. Mit TR2 auf 3V Steuerspannung einstellen.
4. Hohes C drücken.
5. Mit TR1 auf 4V Steuerspannung einstellen.
6. Schritte 2 bis 5 wiederholen, bis keine gegenseitige Beeinflussung mehr messbar ist.



### 3 Der Modul-Synthesizer

Bauteil	Wert	Bezeichnung	Quelle	Bestell-Nr
<b>Widerstände</b>				
R1, R12, R18	1k	Metallschichtwiderstand 1%		
R2, R3, R4, R6, R8, R9, R11, R13, R15, R16, R20, R21	100R	Metallschichtwiderstand 1%		
R5, R7, R10, R19	100k	Metallschichtwiderstand 1%		
R14	10k	Metallschichtwiderstand 1%		
R17, R22	1M	Metallschichtwiderstand 1%		
<b>Trimmer</b>				
TR1, TR2	5k	Trimmer, 6mm liegend, f. Steckachse	Segor	PT6KV-5k
<b>Kondensatoren</b>				
C1, C3	100nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	X7R-5 100n
C2	4,7 $\mu$ F	Tantal Elko	Reichelt	TANTAL 4,7/16
C4, C5	100 $\mu$ F	Miniatur Elko	Reichelt	SM 100/16RAD
C6	100pF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	NPO-5 100P
<b>Spulen</b>				
L1, L2	10 $\mu$ H	Spule	Reichelt	SMCC 10 $\mu$
<b>Halbleiter</b>				
D1, D3	1N4148	Universaldiode	Reichelt	1N 4148
D2	4,7V	Zenerdiode 0,5W	Reichelt	ZF 3,3
ZD1	LM329	6,9V Präzisions Zenerdiode	Segor	LM 329 DZ
T1	BF245B	N-Kanal JFET	Reichelt	BF 245B
IC1	TL084	OP-AMP, Low Noise, JFET, 4-fach	Reichelt	TL084 DIL
<b>Sonstiges</b>				
J1, J2		Molex-Stecker, 3pol, 2er Set mit Kabel	Conrad	743127
K1, K2, K3, K4		1,3mm Lötnagel	Conrad	526274
S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S13	Wert	Kurzhubtaster f. Printmontage 6x6mm	Reichelt	Taster 3301

Tabelle 3.14: Stückliste zur Klaviatur

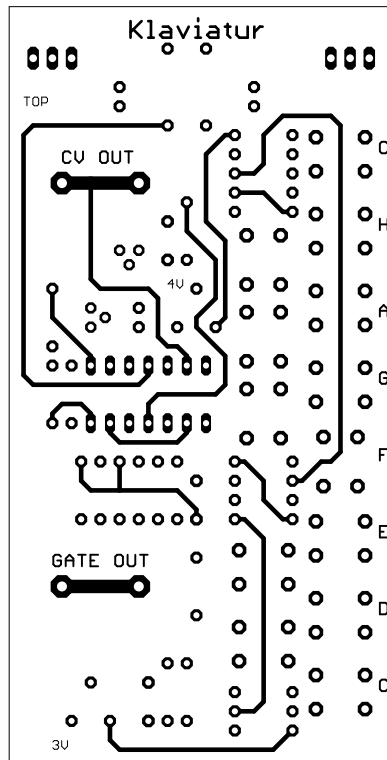


Abbildung 3.36: Layout der Oberseite der Klaviatur

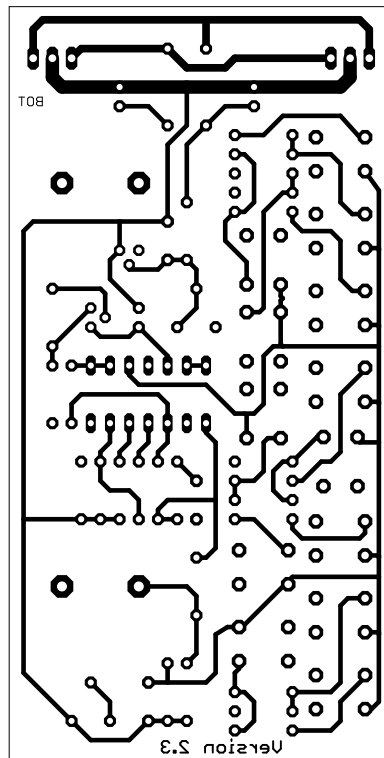


Abbildung 3.37: Layout der Unterseite der Klaviatur



### 3 Der Modul-Synthesizer

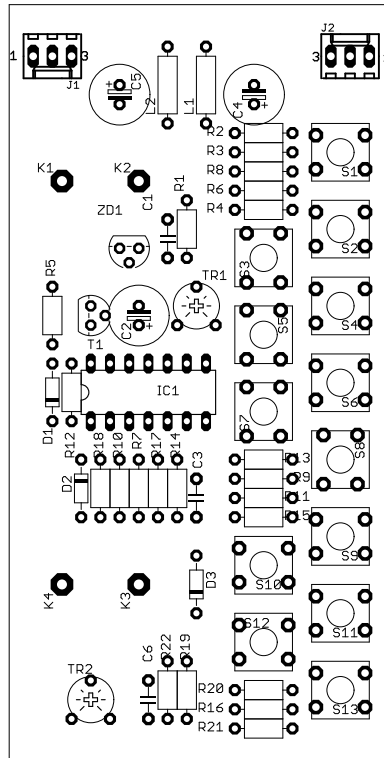


Abbildung 3.38: Bestückungsplan der Klaviatur

### 3 Der Modul-Synthesizer

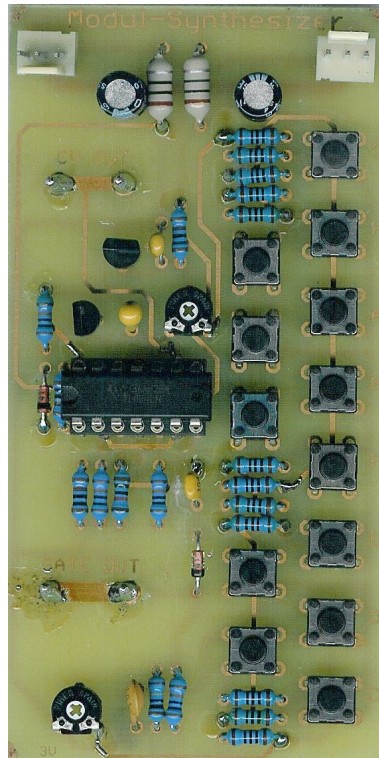


Abbildung 3.39: Ansicht der Klaviatur

### 3.8 Stromversorgung und Auskopplung

Dieses Modul stellt zum einen den anderen Modulen die benötigte Versorgungsspannung zur Verfügung und ermöglicht zum anderen den Anschluß eines Lautsprecherpaares.

Kurzbeschreibung Synthesizer-Modul		
Name	Supply Unit	
Zweck	Bereitstellung der Versorgungsspannung; Anschlußmöglichkeit eines Lautsprecherpaares vorhalten	
Eingänge	LEFT:	Audiospannung für linken Lautsprecher
	RIGHT:	Audiospannung für rechten Lautsprecher
	AC 12V:	Niederspannungsbuchse (5,5mm × 2,1mm) für Steckernetzteil 14V AC
Ausgänge	AUDIO OUT:	Klinkenbuchse 3,5mm für Lautsprecherpaar
Bedienelemente	keine	

Tabelle 3.15: Kurzbeschreibung der Spannungsversorgung

#### Schaltung

Abbildung 3.40 (S.77) zeigt die Schaltung der Stromversorgung. Die Wechselspannung des Steckernetzteils, wird über D1 gleichgerichtet, mit C1 geglättet und schließlich mit IC1 auf 12V stabilisiert. C2, C3 unterbinden Schwingneigung. Die negative Versorgung ist symmetrisch aufgebaut.

Damit die Lautsprecher bei offenem Eingang nicht brummen und die Ausgangsamplitude dem üblichen Pegel entspricht sind die Spannungsteiler R1/R2 bzw. R3/R4 vorgesehen. C6 und C5 sollen etwaige HF, die vom Ausgang eingekoppelt wird, kurzschließen.

Auf Grundlage der Hinweise von S.17, der Stückliste (Tabelle 3.16, S.76) und des Bestückungsplans (Tabelle 3.43, S.80) wird die Leiterplatte des Stromversorgungsmoduls bestückt. Die beiden Spannungsregler werden mit etwas Wärmeleitpaste auf die Kupferflächen der Platine geschraubt. Die beiden Buchsen werden mittels Zentralloch an der Platine befestigt und mit massivem Draht mit der Platine verlötet.

### 3 Der Modul-Synthesizer

Bauteil	Wert	Bezeichnung	Quelle	Bestell-Nr
<b>Widerstände</b>				
R1, R4	10k	Metallschichtwiderstand 1%		
R2, R3	1k	Metallschichtwiderstand 1%		
<b>Kondensatoren</b>				
C1, C7	2200 $\mu$ F	Elko 25V	Reichelt	RAD 2.200/25
C2, C3, C8, C9	100nF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	X7R-5 100n
C4, C10	100 $\mu$ F	Miniatur Elko	Reichelt	SM 100/16RAD
C5, C6	100pF	Vielschichtkondensator, RM5	Reichelt	NPO-5 100P
<b>Halbleiter</b>				
D1, D2	1N4001	Gleichrichterdiode	Reichelt	1N 4001
IC1	7812	Spannungsregler +12V	Reichelt	$\mu$ A 7812
IC2	7912	Spannungsregler -12V	Reichelt	$\mu$ A 7912
<b>Sonstiges</b>				
J1, J2		Molex-Stecker, 3pol, 2er Set mit Kabel	Conrad	743127
K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7, K8, K9		1,3mm Lötnagel	Conrad	526274
H1		Stereo-Klinkenbuchse 3,5mm	Conrad	734101
H2		Niederspannungs-Buchse 5,5mm $\times$ 2,1mm	Conrad	733946
NT1		AC-Steckernetzteil 14V	Conrad	510003

Tabelle 3.16: Stückliste zur Stromversorgung

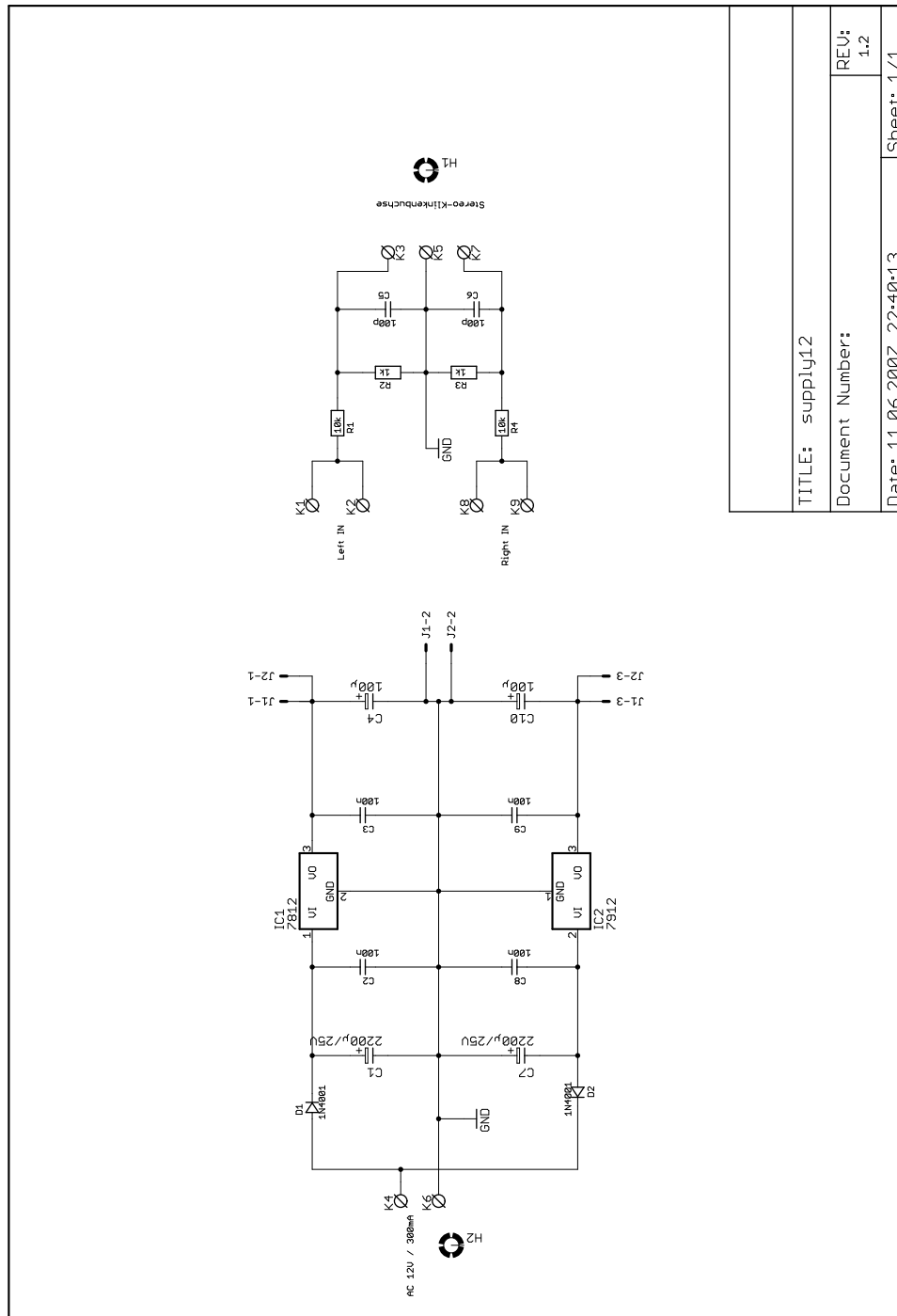


Abbildung 3.40: Schaltung der Stromversorgung

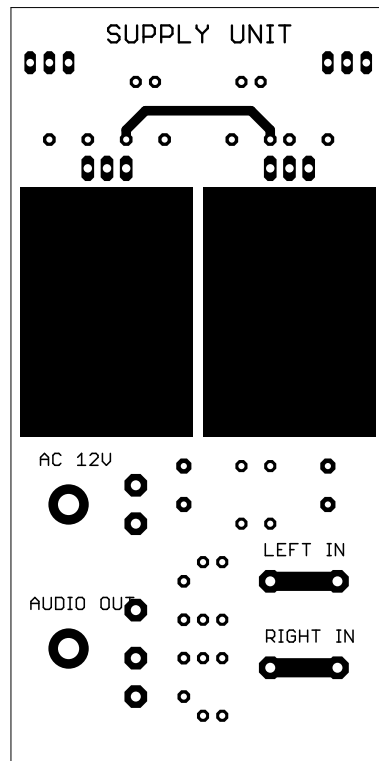


Abbildung 3.41: Layout der Oberseite der Stromversorgung

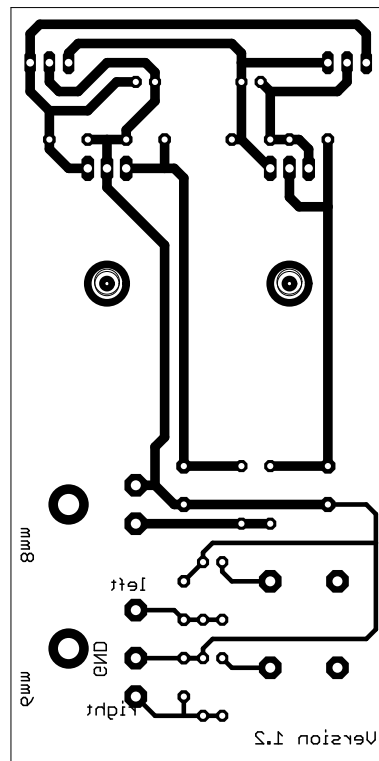


Abbildung 3.42: Layout der Unterseite der Stromversorgung

### 3 Der Modul-Synthesizer

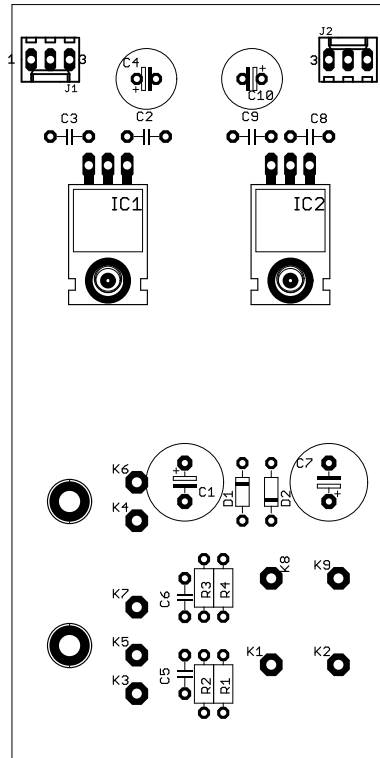


Abbildung 3.43: Bestückungsplan der Stromversorgung



### 3 Der Modul-Synthesizer

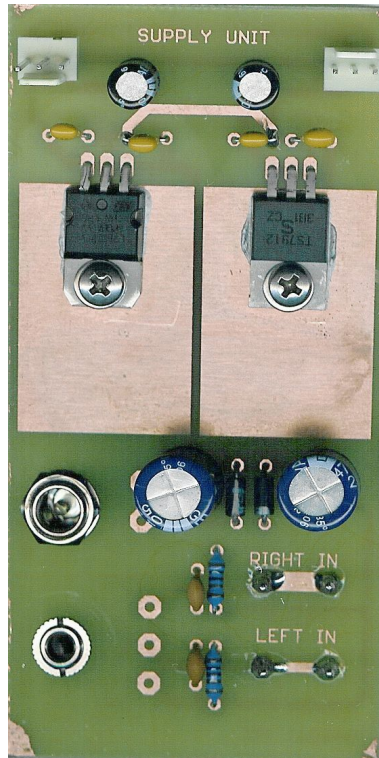


Abbildung 3.44: Ansicht der Stromversorgung

## 4 Resümee

Gegenstand dieser Hausarbeit ist die Entwicklung und der Bau eines Synthesizers. Fachlich betrachtet ist dies in jedem Fall gelungen. Der Funktionsumfang, die Präzision und die Handhabung, lassen einen Einsatz zur Klangsynthese zu, der von Wind- bzw. Sturmgeräuschen, über Brandungsgeräusche und Percussionklänge bis hin zu Klängen, die aus Science-Fiction Filmen oder von Musikbands der 70er und 80er Jahre bekannt sind, reicht. Es ist aber keineswegs so, dass die Module nur zum Einsatz als Synthesizerkomponente geeignet sind. Der VCO ist auch ein Funktionsgenerator, der bei Schüler- oder Demonstrationsversuchen der Informationstechnik Einsatz finden kann. Ebenso ist das Spannungs-gesteuerte Filter eine wiederkehrende Komponente der Signalverarbeitung und bietet sich ebenso zur Verwendung bei der Realisierung von Schaltungen der Informations- bzw. Nachrichtentechnik an.

Wie kann denn dieser Synthesizer nun konkret in der Ausbildung eingesetzt werden? Welche Zielgruppe wird mit diesem Modulsystem überhaupt angesprochen? Ist die ganze Materie nicht viel zu komplex? Diese Fragen lassen sich ganz unterschiedlich beantworten. Je nach verfolgtem Lernziel, didaktischer Aufbereitung, Kontext und Vorwissen reicht Einsatzbereich von der Grundschule bis zur Hochschule. Man kann qualitativ Töne und Klänge unterscheiden, die Tonleiter untersuchen, oder aber mit einem Spectrum-Analyser die Audiospannungen untersuchen. Die Fülle der Möglichkeiten soll im Rahmen dieser Arbeit nur kurz angedeutet werden.

Aus didaktischer Sicht ist die Modularisierung des Synthesizers sicherlich *ein* Vorteil. Man könnte die wichtigsten Grundmodule einzeln mit Hilfe von Beschreibungen, Aufgaben, und anderer Handreichungen einführen, um dann die Komplexität bei der Zusammenschaltung zu steigern. Diese Überlegungen sind jedoch nur Mutmaßungen und können zur weiteren Beschäftigung mit dem Thema anregen.

Für den Autor war neben der technischen Realisierung des Synthesizers die Dokumentation im Rahmen dieser Hausarbeit eine anstrengende, aber zugleich auch sehr lehrreiche Erfahrung, die nicht zuletzt auch Freude bereitet hat. Es wäre schön, wenn auch der Leser mit einiger Freude diese Hausarbeit gelesen hat.

# Glossar

1V/Oktave	Zusammenhang zwischen der Höhe der Steuerungspannung und der Frequenz des VCO und VCF
ADSR	Bezeichnet einen Hüllkurvengenerator mit den veränderlichen Parametern Attack, Decay, Sustain und Release
BP	Band Pass bzw. Bandpass, ein Filter, das vorrangig mittlere Frequenzen passieren läßt
CV	Control Voltage, eine Gleichspannung im Bereich von 0-10V, dient der Steuerung von Filtern, Verstärkern und Oszillatoren
Dreieckschwingung	Schwingung, die alle Obertöne mit ungeradem Verhältnis zur Grundfrequenz enthält und deren Amplitude mit zunehmender Frequenz sehr stark abfällt
Geräusch	Überlagerungen von Tönen mit kontinuierlichem Frequenzspektrum, es existiert keine Periodik
HP	High Pass, bzw. Hochpass, ein Filter, das vorrangig hohe Frequenzen passieren läßt
Kammerton a	Ton oder auch Klang mit dem Grundton von 440Hz

## *Glossar*

Klang	Überlagerungen mehrerer Töne unterschiedlicher Amplitude und verschiedener Frequenzen in ganzzahligen Verhältnissen zueinander
LFO	Low Frequency Oscillator, ist eine Steuerspannungs-Quelle für den VCA oder VCO
LP	Low Pass, bzw. Tiefpass, ein Filter, das vorrangig tiefe Frequenzen passieren läßt
Oberton	Ton, dessen Frequenz in einem ganzzahligen Verhältnis zu der Frequenz seines Grundtones steht
Pink Noise	Rosa Rauschen, hat in jeder Oktave die gleiche Energie
Rechteckschwingung	Schwingung, die alle Obertöne mit ungeradem Verhältnis zur Grundfrequenz enthält
Sinusschwingung	Schwingung ohne Obertöne, enthält nur den Grundton
Steuerspannung	siehe CV
Sägezahnschwingung	Schwingung, die alle Obertöne in geradem und ungeradem Verhältnis zur Grundfrequenz enthält
Ton	rein sinusförmiger Schall einer einzigen Frequenz
VCA	Voltage Controlled Amplifier
VCF	Voltage Controlled Filter
VCO	Voltage Controlled Oscillator
White Noise	Weißes Rauschen, beinhaltet alle Frequenzen mit gleicher Amplitude

## *Glossar*

# Literaturverzeichnis

- [Anw06] ANWANDER, F.: *Synthesizer*. PPV Medien, 2006.
- [Hoe06] HOENIG, U. G.: *Workshop Synthesizer*. PPV Medien, 2006.
- [Ins05] INSTRUMENTS, TEXAS: *Datenblatt zum TLC555*, Februar 2005.
- [Int96] INTERSIL: *Application Note AN013: Everything You Always Wanted to Know About the ICL8038*, November 1996.
- [Int01] INTERSIL: *Datenblatt zum 8038*, April 2001.
- [Lin94] LINEARTECHNOLOGY: *Datenblatt zum LT1228*, 1994.
- [nn79] NN: *NF-Rauschgenerator*. elrad, August 1979.
- [nn99] NN: *Rausch-Injektor*. elektor, März 1999.
- [Scha] SCHMITZ, RENÉ: *Second ADJR Schematic*. <http://www.uni-bonn.de/~uzs159/adjr2.png>, Aufruf am 31.05.2007.
- [Schb] SCHMITZ, RENÉ: *A tutorial on exponential converters and temperature compensation*. [http://www.uni-bonn.de/~uzs159/expo\\_tutorial/index.html](http://www.uni-bonn.de/~uzs159/expo_tutorial/index.html), Aufruf am 31.05.2007.
- [Stö05] STÖCKER, H.: *Taschenbuch der Physik*. Verlag Harri Deutsch, 2005.
- [UT02] U. TIETZE, CH. SCHENK: *Halbleiter-Schaltungstechnik*. Springer, 2002.
- [Wid86a] WIDMANN, J.: *State-Variable-Filter*. elrad, November 1986.
- [Wid86b] WIDMANN, J.: *State-Variable-Filter 2*. elrad, Dezember 1986.

# Erklärung

Ich versichere, dass ich die schriftliche Hausarbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Alle Stellen der Arbeit, die anderen Werken dem Wortlaut oder Sinn nach entnommen wurden, habe ich in jedem Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht.

Das Gleiche gilt auch für die beigegebenen Zeichnungen, Kartenskizzen und Darstellungen. Hiermit versichere ich, die vorliegende Arbeit selbstständig und unter ausschließlicher Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel erstellt zu haben.

Recklinghausen, 24. Juni 2007 \_\_\_\_\_

