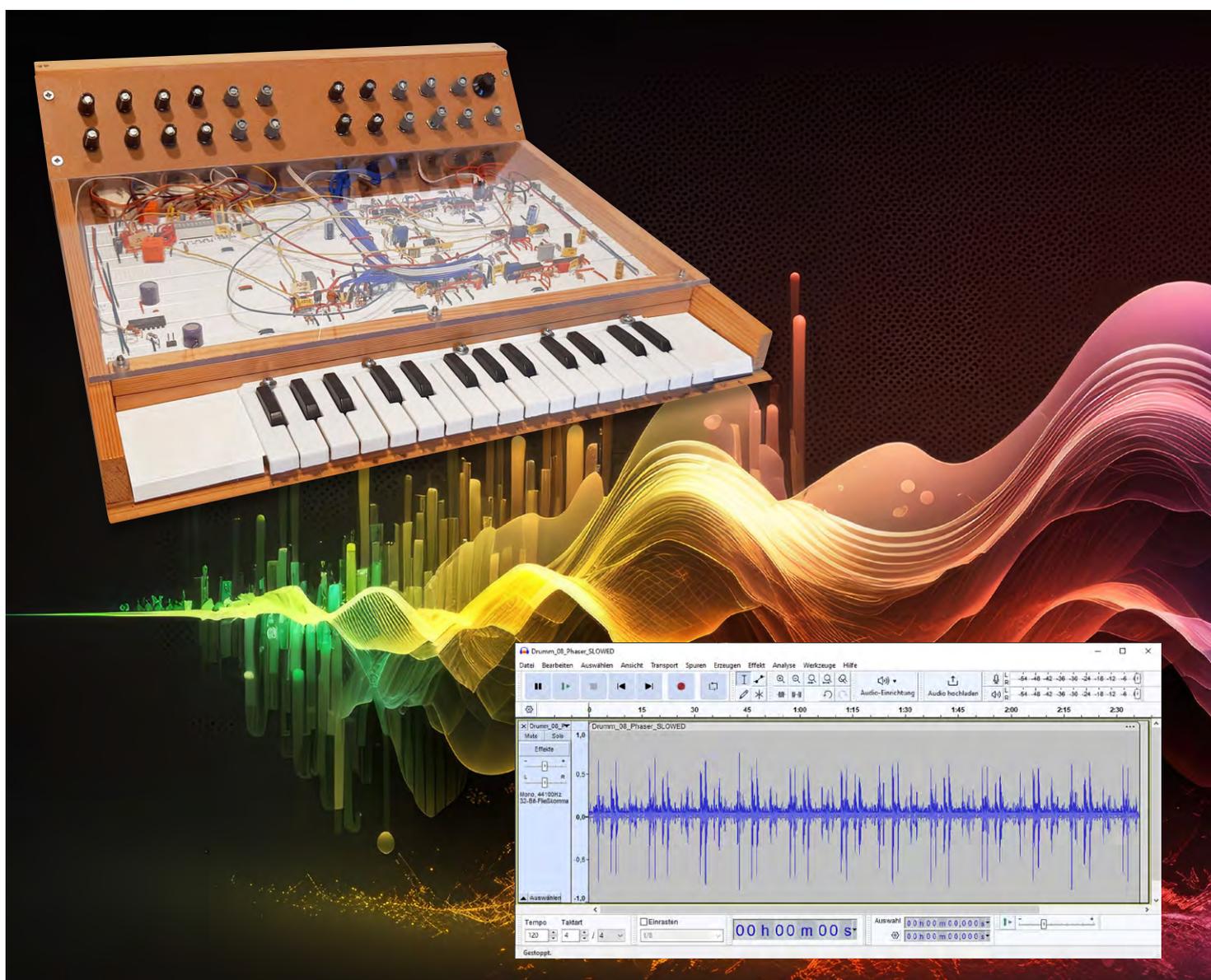


Minisynthesizer

Projekte für Elektronikeinsteiger

Teil 8

Die Geschichte des Synthesizers ist eine faszinierende Reise durch die Welt der Musiktechnik. Sie begann in den frühen 1900er-Jahren mit Experimenten zur elektrischen Klangerzeugung und -manipulation. Bereits ab 1920 baute Leon Theremin eines der ersten elektronischen Musikinstrumente. Es erzeugte gespenstische Klänge durch Bewegung der Hände in der Nähe von Antennen und hatte einen einzigartigen, bis heute unnachahmlichen Klang. In diesem Beitrag soll eine der einfachsten Versionen eines analogen Synthesizers in Form einer Miniaturorgel vorgestellt werden.



Über den Autor

Dr. Günter Spanner ist als Autor zu den Themen Elektronik, Sensortechnik und Mikrocontroller einem weiten Fachpublikum bekannt. Schwerpunkt seiner hauptberuflichen Tätigkeit für verschiedene Großkonzerne wie Siemens und ABB ist die Projektleitung im Bereich Entwicklung und Technologie-Management. Der Dozent für Physik und Elektrotechnik hat zudem zahlreiche Fachartikel und Bücher veröffentlicht sowie Kurse und Lernpakete erstellt.

Die ersten elektronischen Orgeln tauchten in den 30er-Jahren auf. Diese Instrumente erzeugten Klänge, die klassischen Pfeifenorgeln ähnelten. Sie wurden zunächst in Kirchen als kostengünstige Alternative zu großen mechanischen Orgeln eingesetzt. Dreißig Jahre später entstanden die ersten echten Synthesizer, bei denen elektronische Bauteile wie Oszillatoren, Filter und Hüllkurven in modularen Systemen zusammengeschaltet wurden. Robert Moog war ein bedeutender Name dieser Ära.

Auf die analogen Synthesizer der 70er-Jahre folgten die digitalen Varianten ab den 1980er-Jahren. Trotz der Dominanz von Software-Synthesizern im professionellen Bereich erlebt die analoge Hardware wieder einen Aufschwung, da Musiker den taktilen und oft einzigartigen Charakter analoger Synthesizer schätzen.

Erforderliches Material:

- 1 npn-Transistor, z. B. Modul BC847 oder BC547
- 1 pnp-Transistor, z. B. Modul BC857 oder BC557
- 8 Taster
- 9 Widerstände und 2 Kondensatoren (s. u.)
- Kleinlautsprecher (8 Ω)
- elektronisches Steckbrett

Elektronische Klangerzeugung

Für die elektronische Klangerzeugung sind verschiedenste Techniken einsetzbar. Einfache Töne können mit Oszillatoren erzeugt werden. Diese produzieren periodische elektrische Signale mit den Grundwellenformen Sinus, Rechteck, Dreieck oder Sägezahn und bilden die Basis für die Klangerzeugung. Zudem werden häufig Filter verwendet, um bestimmte Frequenzen eines Signals zu verstärken oder abzuschwächen. In der Klangerzeugung werden sie oft verwendet, um Harmonien zu formen, indem sie bestimmte Frequenzbereiche eines Oszillators modifizieren.

Hüllkurvengeneratoren dienen dazu, die zeitliche Entwicklung der Lautstärke (Amplitude) eines Klangs zu steuern. Typische Hüllkurven bestehen

aus den Phasen Anstieg (Attack), Abfall (Decay), Halten (Sustain), Ausklingen (Release) und werden oft als ADSR-Hüllkurven bezeichnet.

Über verschiedene Modulationstechniken können Klänge dynamisch verändert werden. Beispiele hierfür sind Frequenzmodulation (FM), Amplitudenmodulation (AM) und Pulsweitenmodulation (PWM). Dazu kommen oft noch Effekte wie Hall, Delay, Chorus und Flanger, um Klänge zu verändern und zu veredeln, indem man zeitliche und räumliche Aspekte der Tonfrequenzen manipuliert.

Für die Erzeugung von Tönen ist ein einfacher Oszillator ausreichend. Bild 1 zeigt ein entsprechendes Beispiel. Eine Besonderheit dieses Oszillators besteht darin, dass er aus einem NPN- und einem PNP-Transistor aufgebaut ist. Zudem kann die Schwingfrequenz der Schaltung durch verschiedene Widerstände variiert werden. Werden für die Widerstände passende Werte gewählt, kann man z. B. ein C-Dur-Tonleiter erzeugen.

Tonleitern

Eine Tonleiter ist eine Folge von Tönen, die in einer bestimmten Reihenfolge angeordnet sind. Sie umfasst z. B. eine Oktave. Tonleitern bilden die Grundlage für Melodien und Harmonien in der Musik. Eine Dur-Tonleiter besteht aus Tönen mit einer Struktur von Ganz- und Halbtönen in folgender Reihenfolge: Ganz, Ganz, Halb, Ganz, Ganz, Ganz, Halb.

Ein Beispiel ist die C-Dur-Tonleiter: C, D, E, F, G, A, H, C. Die Frequenzen dieser Töne sind international festgelegt:

Ton	Frequenz	Widerstand	Widerstandssumme
c'	264 Hz	100 kΩ	100 kΩ
d'	297 Hz	10 kΩ	110 kΩ
e'	330 Hz	10 kΩ	120 kΩ
f'	352 Hz	15 kΩ	135 kΩ
g'	396 Hz	22 kΩ	177 kΩ
a'	440 Hz	22 kΩ	199 kΩ
h'	494 Hz	22 kΩ	221 kΩ
c''	528 Hz	33 kΩ	254 kΩ

Eine Schwierigkeit beim Bau einer elektronischen Orgel besteht darin, dass man mit vergleichsweise wenigen, standardisierten Widerstandswerten auskommen muss. Die Werte in Bild 1 ergeben daher nur eine Annäherung an die gewünschten Tonfrequenzen. Musiker mit feinem Gehör werden sofort erkennen, dass die Tonleiter nicht ganz rein ist. Im Abschnitt „Experimente und Anregungen“ finden sich einige Hinweise darauf, wie man diese Situation verbessern kann. Für den Aufbau der Schaltung ist ein größeres Steckbrett ausreichend. Bild 2 zeigt einen Vorschlag dazu.

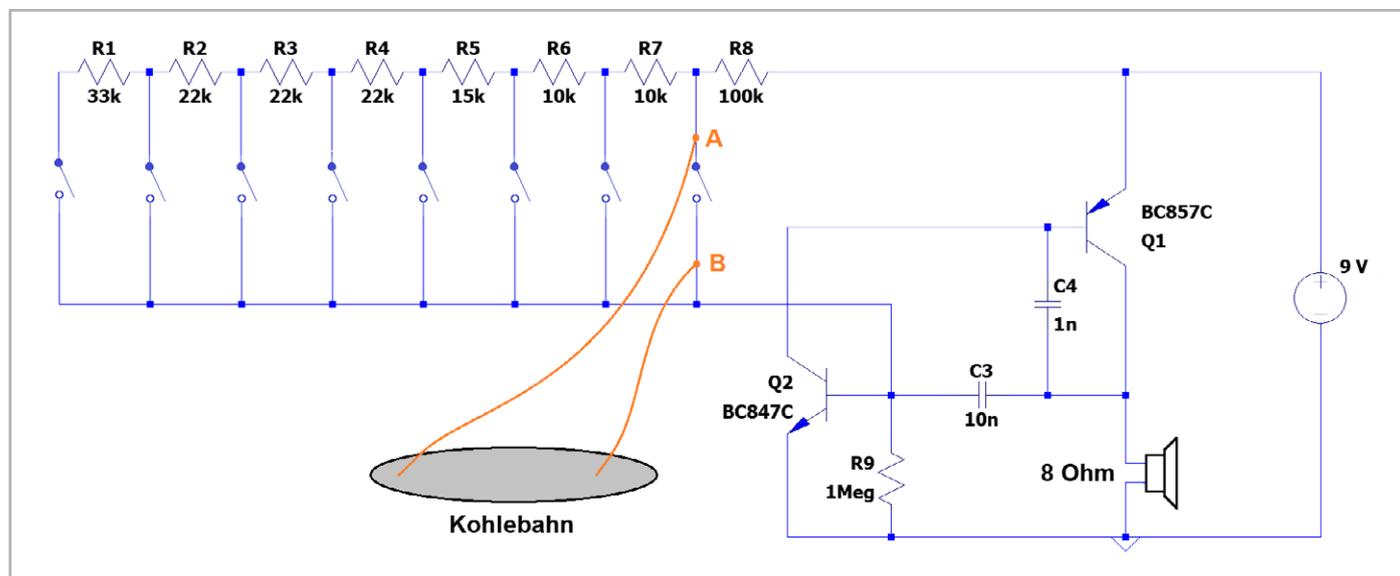


Bild 1: Schaltbild zur Miniorgel

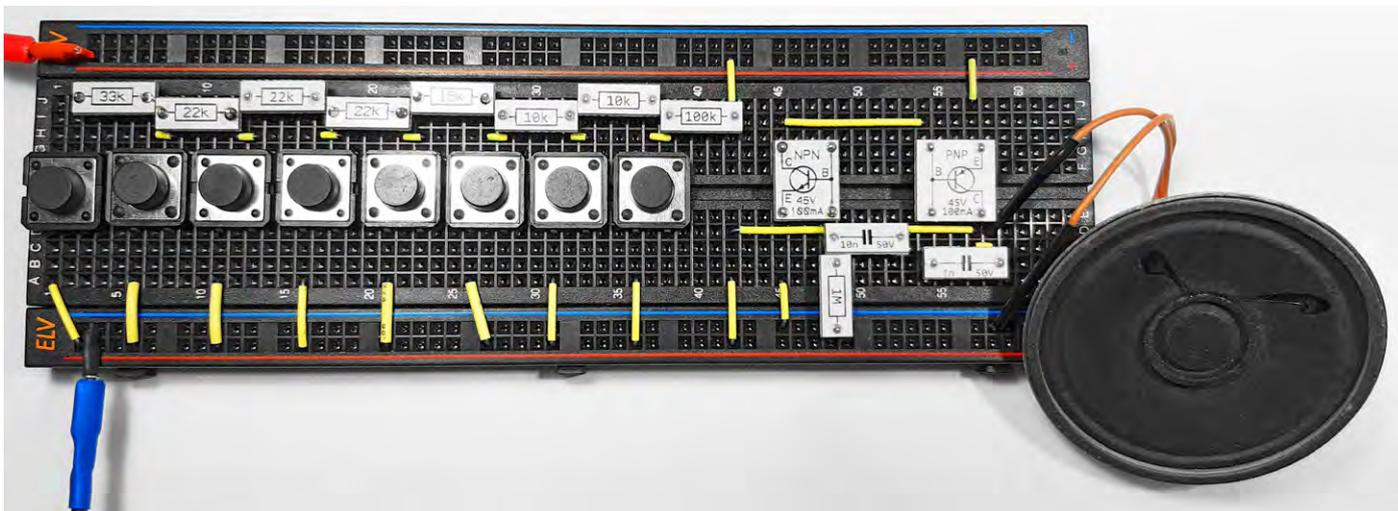


Bild 2: Aufbaubild zur Miniaturorgel

„Kohlebahnorgel“ und elektrische Menschenkette

Mit der Miniorgel lässt sich nicht nur Musik machen, auch eine Reihe weiterer interessanter Experimente ist damit möglich. So können die Widerstände und Tasten durch einen dicken Bleistiftstrich ersetzt werden (Bild 3). Dazu malt man mit einem möglichst weichen Bleistift einen dicken Strich auf gutes Zeichenpapier. Der Strich darf gerne auch etwas größer und länger sein. Eine Länge von ca. 10 cm und eine Breite von einem Zentimeter sind gut geeignet. Der Bleistift muss fest aufgedrückt werden; je dunkler und schwärzer das Feld wird, desto besser. Dann wird ein Draht mit einer Büroklammer an einem Ende des Strichs befestigt. Das andere Drahtende wird mit der Schaltung (Punkt A in Bild 1) verbunden. Dabei ist unbedingt darauf zu achten, dass der 100-k Ω -Widerstand in der Schaltung bleibt! Mit einem zweiten Draht (angeschlossen an Punkt B der Schaltung) kann das ausgemalte Feld dann an verschiedenen Stellen berührt werden. Bild 3 zeigt ein Beispiel für eine geeignete „Kohlebahn“. Je nachdem, an welcher Stelle die Kohlebahn berührt wird, wird ein anderer Ton erzeugt.

Der Kohlestrich ist nichts anderes als ein elektrischer Widerstand. Auch in normalen technischen Widerständen ist ein Stück Spezialkohle enthalten. Kohle ist ein mittelmäßig guter Leiter. Ein längeres Kohlestück hat daher einen deutlich größeren Widerstand als ein kurzes. Über die Länge des in einem Widerstand enthaltenen Kohlestücks kann man also den Wert des Widerstands verändern. Beim selbst gebauten Kohlewiderstand funktioniert das genauso: Der Widerstand verändert sich mit dem Abstand, in welchem die beiden Drahtenden auf die Kohlebahn aufgesetzt werden.

Ein Vorteil dieser Variante ist, dass man die Tonhöhe nun kontinuierlich verändern kann. Man kann also die Orgel richtig stimmen und dann an den passenden Stellen die korrekten Musiknoten eintragen. Außerdem stellt diese Methode eine Möglichkeit dar, die Orgel zu betreiben, auch wenn nicht genügend Widerstände oder Taster zur Hand sind.

Ein weiteres interessantes Experiment ist die „elektrische Menschenkette“: Dafür muss man lediglich die beiden Drahtenden der Kohlebahnorgel fest in die Hand nehmen. Durch den Körperwiderstand wird ein Ton mit einer bestimmten Frequenz erzeugt. Das funktioniert sogar noch, wenn zwei Menschen jeweils ein Drahtende in die Hand nehmen. Sobald sich die beiden berühren, ertönt wieder ein Signal. Auch mit drei oder mehr Teilnehmern gelingt der Versuch, wenn sich alle zu einer Kette zusammenschließen (Bild 4). Auf Partys oder Kindergeburtstagen sorgt die Schaltung meist für viel Spaß!

Warnung:

Die Orgel darf nur mit Batterien betrieben werden. Insbesondere bei der Menschenkette kommt es zu intensivem Kontakt mit der Schaltung. Bei Verwendung eines möglicherweise fehlerhaften Netzteils oder Ladegeräts besteht hier Lebensgefahr!

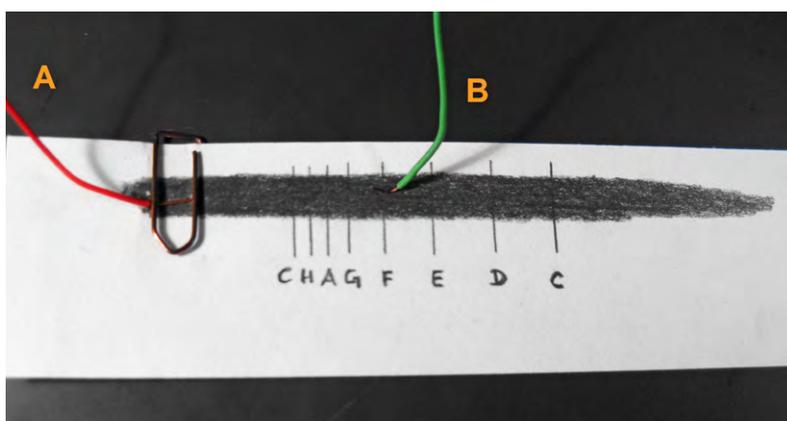


Bild 3: Bleistift-Kohlebahn

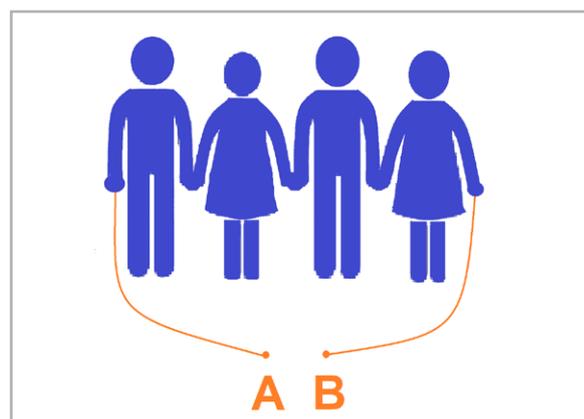


Bild 4: Elektrische Menschenkette

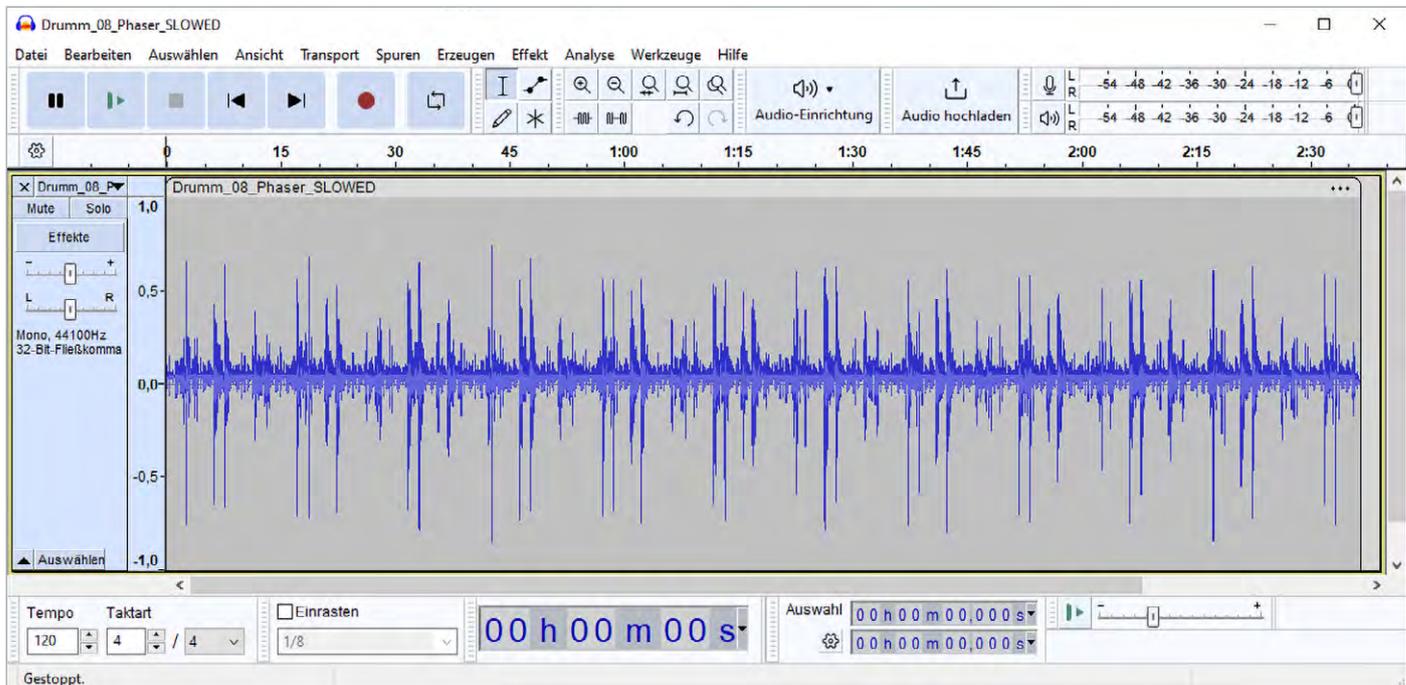


Bild 5: Hauptfenster von Audacity

Analog trifft digital

Der Klang der Miniorgel ist eher kalt und technisch. Das liegt daran, dass die Schaltung keine Sinustöne, sondern scharfe Schaltimpulse erzeugt. Diese Variante hat mit dem vollen, raumfüllenden Klang professioneller Synthesizer noch relativ wenig zu tun. Um diesen „Klangwolken“ näherzukommen, ist allerdings ein erheblicher Schaltungsaufwand erforderlich. Diesen zu beschreiben würde den Rahmen der Artikelserie sprengen. In früheren Tagen füllten entsprechende klangschwere modulare Synthesizer ganze Hallen! Aber man kann mit einfacheren Mitteln auch zum Ziel kommen. Man muss hierbei allerdings den

Pfad der rein analogen Klangerzeugung verlassen und einen PC zur Hilfe nehmen. Mit Programmen wie [Audacity](#) kann man auch aus den einfachen Tonfolgen der Miniorgel ganz erstaunliche Effekte herausholen (Bild 5). Das Programm ist kostenlos im Internet verfügbar. Es bietet eine Fülle von Klangeffekten wie Echo, Chorus, Pitchveränderung usw.

Die durch Download verfügbaren [Klangbeispiele](#) wurden mit einem selbst gebauten Synthesizer (Bild 6) in Kombination mit Audacity erstellt. Auch dieser inzwischen recht komplexe Aufbau entstand im Laufe mehrerer Jahre aus einer einfachen Orgelschaltung gemäß Bild 1.



Bild 6: Synthesizer im Eigenbau

Ungleiche Brüder: NPN und PNP

In früheren Schaltungen dieser Artikelserie kamen ausschließlich Transistoren eines Typs vor. Es handelte sich dabei um sogenannte NPN-Transistoren, z. B. vom Typ BC847 in den Modulen der PAD-Serie oder um Einzeltransistoren des Typs BC548. Neben den NPN-Transistoren gibt es jedoch auch sogenannte PNP-Typen. In der Orgelschaltung nach **Bild 1** werden beide Typen eingesetzt.

Bei NPN- und PNP-Transistoren handelt es sich um zwei verschiedene Arten von Bipolartransistoren. Da sie sich in vielen Eigenschaften ergänzen, werden sie auch als komplementäres Paar bezeichnet. Ein NPN-Transistor besteht aus zwei n-dotierten Schichten, die eine p-dotierte Schicht einschließen (n-p-n). Wenn eine kleine positive Spannung an die Basis angelegt wird (relativ zum Emitter), fließt ein Strom von der Basis zum Emitter. Dies ermöglicht einen größeren Stromfluss vom Kollektor zum Emitter. Beim PNP-Transistor dagegen schließen zwei p-dotierte Schichten eine n-dotierte Schicht ein (p-n-p). Hier muss eine kleine negative Spannung (relativ zum Emitter) angelegt werden, damit ein Strom im Kollektor-Emitter-Kreis fließen kann.

Eine wichtige Anwendung von NPN- und PNP-Transistoren sind sogenannte Gegentaktverstärker. Hierbei handelt es sich um eine Schaltungstopologie, die häufig in Verstärkern verwendet wird, die sowohl positive als auch negative Halbwellen eines Eingangssignals verstärken sollen. Die Transistoren sind so angeordnet, dass sie gemeinsam das Eingangssignal verstärken. Wenn einer der Transistoren leitet, sperrt der andere und umgekehrt. **Bild 7** zeigt den prinzipiellen Aufbau einer solchen Verstärkerstufe. Damit diese auch perfekt arbeitet, sind jedoch noch einige Modifikationen notwendig, die in einem der folgenden Artikel näher erläutert werden.

Experimente und Anregungen

- Wie können die Tonfrequenzen der einfachen Orgel näher an die korrekten Werte der C-Dur-Tonleiter gebracht werden?
 - Hinweis: Serien- und Parallelschaltung von Widerständen
 - Helfen Potentiometer hier weiter?
- Wie verändert sich die Tonhöhe, wenn die Kondensatorwerte verändert werden?
- Die „Kohlebahngel“ bietet ein weites Experimentierfeld. So kann man die Tonhöhe und den Tonbereich verändern z. B. durch:
 - die Strichdicke
 - die Länge der Graphitbahn
 - die Härte des verwendeten Bleistifts
 - die Befestigung der Anschlussdrähte

Ausblick

Nachdem in diesem Artikel die Grundlagen der elektronischen Tonerzeugung vorgestellt wurden, sollen im nächsten Beitrag Töne oder Schallsignale verwendet werden, um Schaltsignale zu erzeugen. Diese Methode ist also gewissermaßen die Umkehrung der hier vorgestellten Schaltung. Die Schallsignale werden von einem empfindlichen Mikrofon aufgenommen, verstärkt und dann einer elektronischen Schaltung zugeführt. Die Schaltung kann als sogenannter „Klatschschalter“ eingesetzt werden, der es erlaubt, beliebige Verbraucher durch einfaches Händeklatschen ein- und auszuschalten. **ELV**

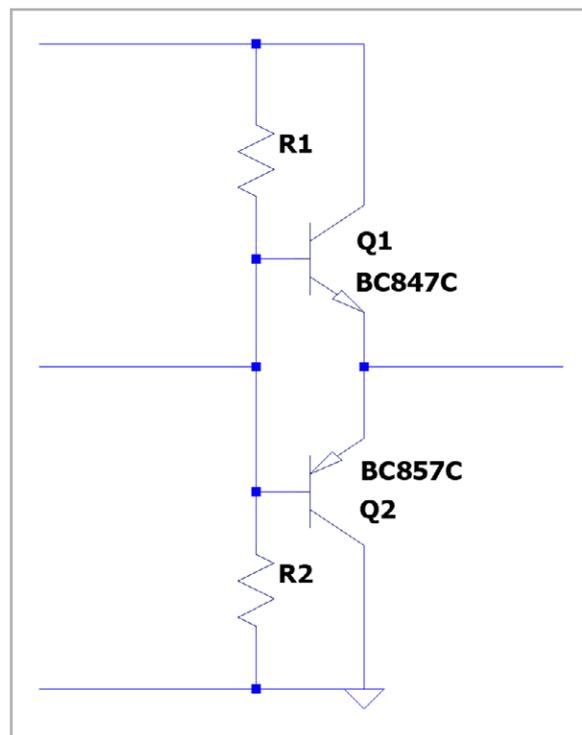


Bild 7: Gegentaktverstärker mit NPN- und PNP-Transistor

Material

Breadboard	Artikel-Nr. 251467
Transistoren, Kondensatoren und Widerstände sind im Set PAD-PRO-EXSB enthalten	Artikel-Nr. 158980
Kleinlautsprecher 50 mm, 8 Ω, 0,25~0,5 W	Artikel-Nr. 009394
Taster	Artikel-Nr. 022634