



Sound direkt vom Chip – Mini-Wave-Player

Basierend auf einem Open-Source-Projekt entstand ein einfacher, auf nur einem kleinen Mikrocontroller basierender Wave-Player, der in der Lage ist, Sounddateien, wie sie z. B. im Modellbau, in Spielzeugen, Robotern oder für einfache Durchsagen benötigt werden, von einer SD-Speicherkarte abzuspielen. Dabei sind über vier Auswahl eingänge bis zu 15 WAV-RIFF-Dateien selektierbar. Damit steht ein unaufwändiger und vielseitig einsetzbarer Soundplayer zu einem günstigen Preis zur Verfügung.

Einfacher Player

Grundlage für diese Schaltung ist eine im Internet veröffentlichte Schaltung auf der Seite von Elm-Chan.

Kurzbezeichnung:	MWP1
Versorgungsspannung:	3,5–12 Vdc (Jumper 1 geschlossen), 2,7–3,3 Vdc (Jumper 2 geschlossen)
Stromaufnahme:	20 µA (Stand-by), 100 mA max.
Eingang:	4x Eingänge (low-aktiv)
Ausgang:	Lautsprecher 8–150 Ω
Ausgangsleistung:	250 mW max. @ 8 Ω
SD-Karte:	micro-SD/FAT32
Unterstütztes Dateiformat:	WAVE/RIFF in LPCM, 8/16 Bit, 8–48 kHz
Leitungslängen:	max. 40 cm
Umgebungstemperatur:	5 bis 35 °C
Schutzart:	IP20
Abmessungen:	
Platine (B x T):	26 x 19 mm
Gehäuse (B x H x T):	30 x 9 x 22 mm
Gewicht:	5 g

Dieser findige Programmierer und Entwickler aus Japan [1] hat es geschafft, mit einem relativ kleinen Mikrocontroller das File-System einer SD-Karte im Format FAT32 auszulesen. Dies ist bei der begrenzten Speicherkapazität des Flashspeichers im Controller nicht ganz einfach. Da dieser Entwickler seine Entwicklung kostenlos für die Allgemeinheit und auch zur gewerblichen Nutzung zur Verfügung stellt (Creative-Commons-Unported-Lizenz), haben wir dazu eine kleine Platine entwickelt, um auch Nutzern, die nicht in der Lage sind, selber Platinen herzustellen, den Einsatz dieser interessanten Schaltung zu ermöglichen. An dieser Stelle einen herzlichen Dank an Elm-Chan [1] für diese tolle Entwicklung, die ursprünglich sogar auf der Nutzung eines gerade einmal 8-poligen AVR-Controllers beruhte!

Die von ihm geschriebenen Routinen sind inzwischen Grundlage für viele im Internet erhältliche Programmbeispiele für unterschiedliche Mikrocontrollersysteme. Dies zeigt, wie gut und „tricky“ die von Elm-Chan programmierten Routinen zum Auslesen von SD-Karten sind – einfach genial.

Doch nun zur Schaltung und was sie alles kann. Für unsere Hardware wurde der Quellcode etwas

angepasst, so dass z. B. die SD-Karte im Ruhestrombetrieb ausgeschaltet ist. Die Schaltung spielt Wave-Dateien, die im RIFF-Format vorliegen müssen, von einer microSD-Karte ab.

Die Schaltung arbeitet mit nur einem Mikrocontroller, der im Gegensatz zu einem MP3-Player keinen speziellen MP3-Decoder benötigt. Das Audioausgangssignal ist ein digitales PWM-Signal, das ohne spezielle Filter arbeitet.

Mit den 4 Tastereingängen können 4 verschiedene Files und bis zu 15 Wave-Dateien in Binärcodierung selektiert und über einen Lautsprecher abgespielt werden.

Durch diese einfache Technik ergeben sich natürlich auch Nachteile, die nicht verschwiegen werden sollen. Die Qualität ist nicht so hochwertig wie bei komprimierten MP3-Dateien. Hierfür ist aber auch mehr technischer Aufwand notwendig. Aber die wesentlichen Vorteile sind: die extrem kleine Bauweise (**Bild 1**) und die relativ geringen Kosten. Die Qualität ist für viele Anwendungen, wie z. B. Modellbau oder das Nachrüsten von Spielzeug usw., vollkommen ausreichend. Zudem sind die Bedienung und das Handling sehr einfach!

Wer also einen qualitativ hochwertigen Decoder sucht, ist mit einem MP3-Decoderbaustein, wie er z. B. in den Geräten der ELV-MSMx-Serie verbaut ist, besser bedient, vorausgesetzt, man hat den notwendigen Platz zum Einbau dafür.

Ausgeglichen werden die Nachteile durch die extrem kleine Bauweise der Schaltung und die sehr einfache



Bild 1: Größenvergleich des Mini-Wave-Players mit einer 2-Euro-Münze und einer microSD-Speicherkarte

Technik. In **Bild 1** ist das Gehäuse im Vergleich zu einer 2-Euro-Münze dargestellt.

Schaltung

In **Bild 2** ist das Schaltbild des Mini-Wave-Players abgebildet. Kern der Schaltung ist ein Mikrocontroller vom Typ ATTiny861V, der das Auslesen der SD-Karte und die Wiedergabe der Wave-Datei über den angeschlossenen Lautsprecher übernimmt. Über BU3 werden die vier zur Verfügung stehenden Eingänge abgefragt. Diese Eingänge sind binär codiert, es können somit insgesamt 15 verschiedene Logikzustände abgefragt werden. Im einfachsten Fall werden 4 Taster angeschlossen, mit denen dann die Musiktitel ausgewählt und gestartet werden. Das EMV-Filter L3 schützt die Eingänge und somit den Controller IC1 vor Spannungsspitzen (ESD) und verhindert gleichzeitig Störsignale in beide Signalrichtungen.

Im Ruhezustand, d. h. kein Taster ist betätigt, befindet sich der Controller im sogenannten Sleep-Modus, wodurch die Stromaufnahme lediglich ca. 20 µA beträgt. Dies ist für Batteriebetrieb sehr vorteilhaft, denn somit kann auf einen zusätzlichen Ein-Aus-Schalter verzichtet werden. Sobald ein Eingang auf Low-Potential wechselt, erwacht der Controller

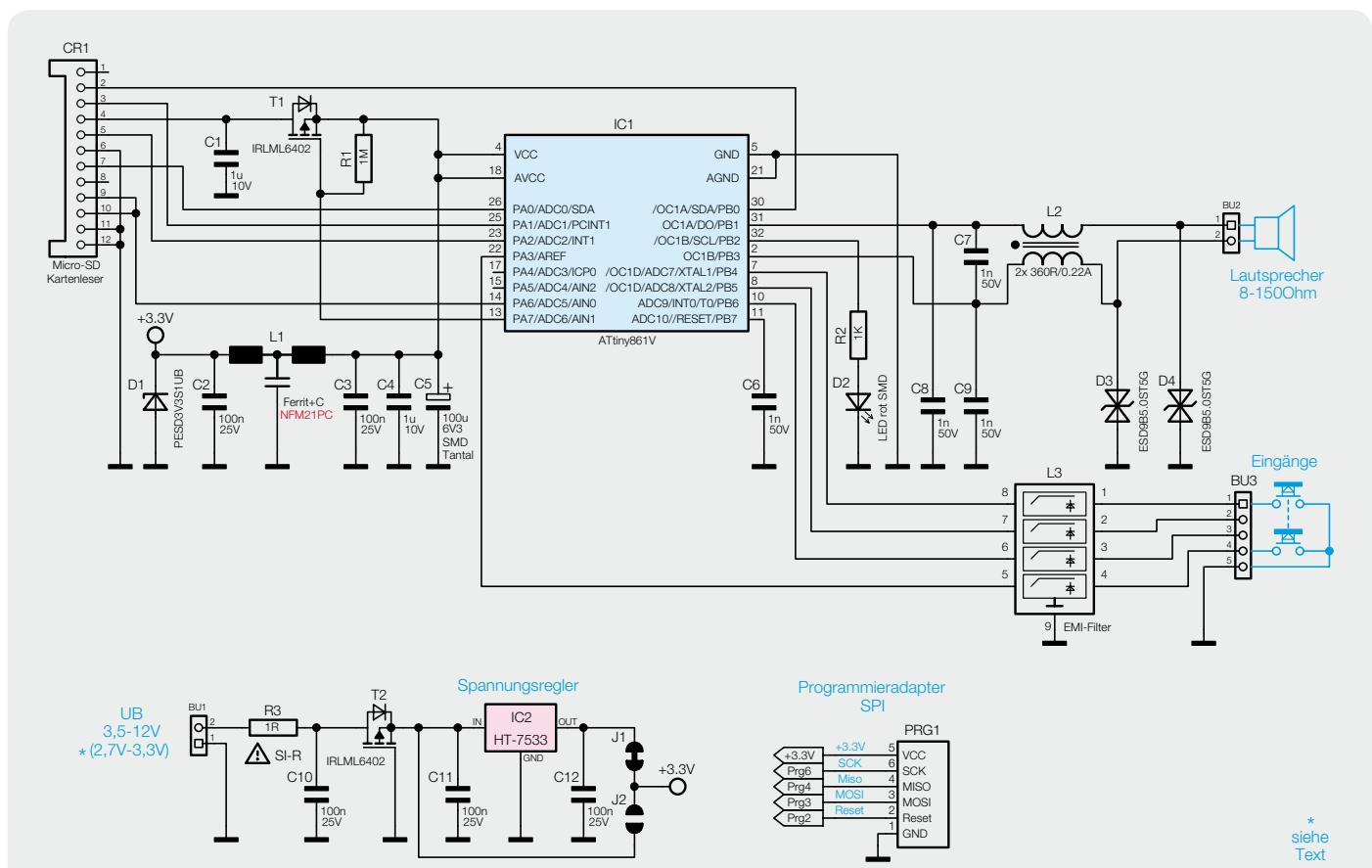


Bild 2: Schaltbild des Mini-Wave-Players

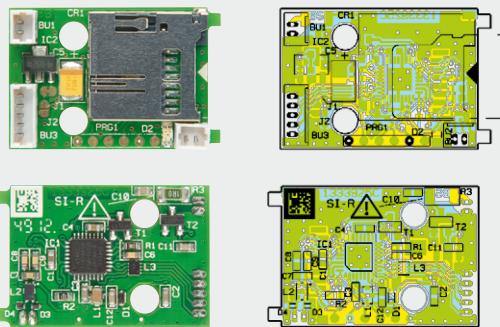


Bild 3: Fertig aufgebauten Platine mit zugehörigem Bestückungsplan, von der Bestückungsseite (oben) und der Lötseite (unten) gesehen.

und fragt ab, welche Taste betätigt wurde. Anschließend wird über den Transistor T1 die im Kartenslot CR1 eingesteckte SD-Karte mit Spannung versorgt. Die interne Firmware des Controllers liest die Daten der SD-Karte bzw. die gewählte WAV-Datei aus und gibt die Audiosignale als pulsweitenmoduliertes Signal an den Lautsprecher aus, der über die Buchse BU2 angeschlossen ist. Die zusätzlichen Bauteile L2 sowie die Kondensatoren C7 bis C9 am Ausgang sorgen für eine Störunterdrückung, denn das Ausgangssignal besteht aus einem rechteckförmigen Signal mit einer Frequenz

von ca. 260 kHz. Der angeschlossene Lautsprecher ist nicht in der Lage, diese Frequenz mit einer hohen Amplitude wiederzugeben, was auch beabsichtigt ist, denn die Audioinformation steckt in der Pulsbreite, die vom Lautsprecher wiedergegeben wird. Im Prinzip wird also mit Hilfe des Lautsprechers ein digitales Signal in ein analoges Signal umgewandelt.

Die beiden Dioden D3 und D4 sind Transilschuttdioden, die Spannungsspitzen (elektrostatische Entladungen, auch ESD genannt) unterdrücken bzw. auf einen für den Controller „ungefährlichen“ Pegel senken. Die LED D2 dient als optische Kontrolle, ob die Daten der SD-Karte gültig sind bzw. ob die entsprechende Datei gefunden wurde. Die LED ist nur für Testzwecke vorgesehen und erleichtert die Inbetriebnahme und Fehlersuche, weshalb diese LED auch nicht aus dem Gehäuse herausgeführt ist und sich als SMD-Bauteil direkt auf der Platine befindet.

Die Spannungsversorgung erfolgt über den Steckverbinder BU1. Im Normalfall beträgt der Eingangsspannungsbereich 3,5 bis 12 V (Jumper 1 geschlossen, hier kann man u. a. auch ein bis zwei Lithium-Zellen als Versorgung einsetzen). Die Schaltung kann aber auch mit einer Spannung von 2,7 bis 3,3 V versorgt werden (dies entspräche zwei 1,5-V-Batterien), was aber nicht ganz ohne Risiko ist, denn eine zu hohe Eingangsspannung kann zur Zerstörung der SD-Karte bzw. des Mikrocontrollers führen (siehe auch Abschnitt „Inbetriebnahme“).

Zum Schutz der Spannungsversorgung im Fehlerfall (z. B. Kurzschluss in der Schaltung) ist ein Sicherheitswiderstand (R3) in Reihe zur Spannungsversorgung geschaltet. Diese Sicherung ist nicht reversibel, d. h. nach dem „Auslösen“ und somit ihrer Zerstörung muss ein neuer Widerstand eingebaut werden. Der Transistor T2 dient dem Verpolungsschutz, da dieser nur leitend wird, wenn die richtige Polarität der Eingangsspannung anliegt. Der nachfolgende Spannungsregler IC2 stellt eine konstante Spannung von 3,3 V zur Verfügung. Über die beiden Jumper J1 und J2 kann die beschriebene Art der Spannungsversorgung gewählt werden.

Nachbau

Die Schaltung ist auf einer sehr kleinen doppelseitigen Platine mit den Abmessungen von nur 19 x 26 mm untergebracht (Bild 3). Bedingt durch die extrem kleinen SMD-Bauteile sind diese Bauteile schon maschinell vorbestückt. Zudem ist das Handlöten des Controller-ICs mit seinem kleinen MLF-Gehäuse kaum zu bewerkstelligen. Lediglich die Buchsen müssen bestückt und verlötet werden. Hierbei ist auf die richtige Einbaulage (erkennbar am Platinenaufdruck) zu achten. Die Buchsen werden auf der gegenüberliegenden Platinenseite verlötet.

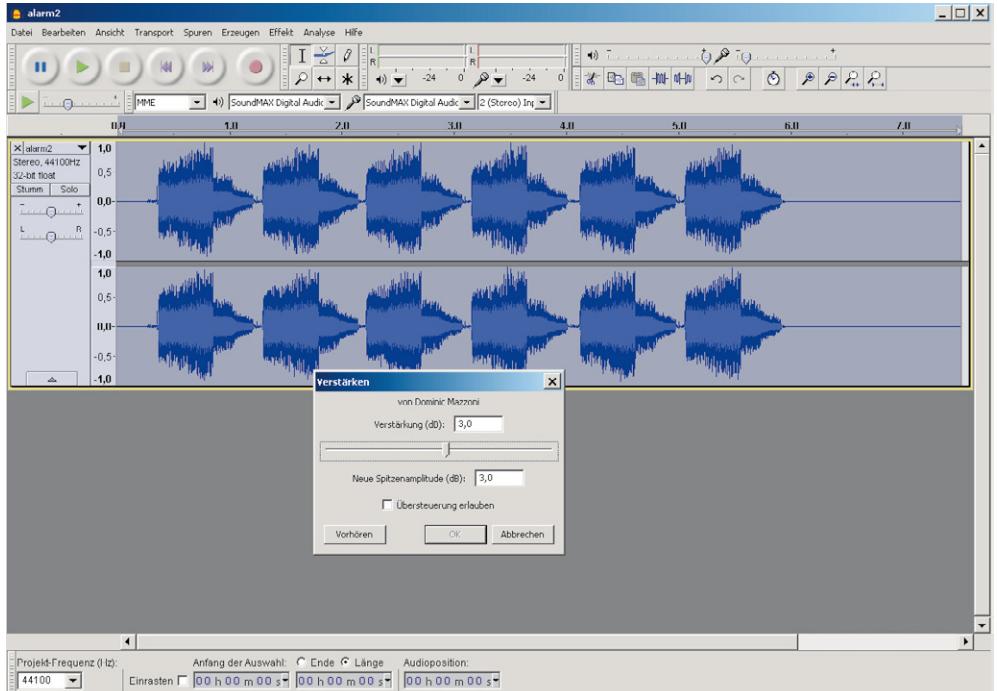
Nachdem die Platine so weit aufgebaut ist, erfolgt der Einbau in das Gehäuse. Die Platine wird hierzu einfach in die Gehäuseunderschale gelegt und anschließend das Gehäuseoberteil aufgesetzt.

SD-Karte und das File-System

Wie schon erwähnt, können nur Audiodateien im Format WAVE/RIFF abgespielt werden. Die Formatierung

Widerstände:	
Sicherungswiderstand 1 Ω/SMD/1206	R3
1 kΩ/1 %/SMD/0603	R2
1 MΩ/1 %/SMD/0603	R1
Kondensatoren:	
1 nF/SMD/0603	C6–C9
100 nF/SMD/0603	C2, C3, C10–C12
1 μF/SMD/0603	C1, C4
100 μF/6,3 V/SMD/Tantal	C5
Halbleiter:	
ELV121176/SMD	IC1
HT7533/SMD	IC2
IRLML6402/SMD	T1, T2
PESD3V3S1UB	D1
ESD9B5.0ST5G/SMD	D3, D4
LED/rot/SMD	D2
Sonstiges:	
EMI-Filter NFM21PC104	L1
EMI-Filter ACM2012-361	L2
EMI-Filter VEMI45AG-NMH	L3
Stiftleistenbuchse, 2-polig, print, stehend, RM = 1,25 mm	BU1, BU2
Stiftleistenbuchse, 5-polig, print, stehend, RM = 1,25 mm	BU3
microSD-Kartenhalter	CR1
1 Mini-Gehäuse DR03, hellgrau, bearbeitet und bedruckt	
2x 2-polige Anschlussleitung	
1x 5-polige Anschlussleitung	

Bild 4: Im Menupunkt „Verstärken“ kann bei Audacity der Verstärkungsfaktor eingestellt werden.



sollte im für SD-Karten üblichen FAT32-Format erfolgen. Bei der Auswahl der microSD-Karten gibt es keine Beschränkung auf bestimmte Hersteller. Im ELV-Labor wurden zahlreiche Karten unterschiedlicher Hersteller und Speichergrößen getestet. Es ist aber nicht ausgeschlossen, dass es Speicherkarten gibt, die nicht einwandfrei funktionieren, da sich nicht alle Hersteller an die SD-Standards halten [4].

Hat man die gewünschte Datei in einem anderen Format vorliegen, wie z. B. MP3, muss die Datei durch einen Konverter in das Wave-Format gebracht werden. Hierfür eignet sich das sehr gute kostenlose Tool Audacity. Nähere Informationen zu diesem Programm findet man unter [2]. Um eine optimale Lautstärke zu erreichen, kann mit dem Programm „Audacity“ (Bild 4) eine Pegelanhebung vorgenommen werden. Dies sollte man bei jeder Wave-Datei prüfen und ggf. korrigieren. Audacity hebt den Pegel aber nur dann an, wenn keine Übersteuerung auftritt. Sobald auch nur kurze Spikes auftreten, die nahe am Maximumpegel liegen, verhindert Audacity eine Verstärkung. Möchte man das Signal dennoch verstärken, muss ein Häkchen bei „Übersteuerung erlauben“ gesetzt werden. Auf jeden Fall sollte man versuchen, das Maximum an Lautstärke zu erreichen, natürlich unter Berücksichtigung der Qualität.

Die Dateien auf der SD-Karte müssen bestimmte Bezeichnungen aufweisen. In Bild 5 sieht man, wie der Ordner auf der SD-Karte aussieht. Es werden nur Dateien gefunden, die sich im Hauptordner (Root) befinden. Der Dateiname besteht aus 3 Ziffern, also von 001 bis 015. Zum Beispiel wird bei Betätigen von Taste 1 die Datei 001.wav abgespielt.

Da die Eingänge binär ausgewertet werden, muss man hier beachten, dass die Taste 3 (Wertigkeit 4) die Datei 004.wav und die Taste 4 (Wertigkeit 8) die Datei 008.wav aktiviert:

Tastereingang 1 → 001.wav
Tastereingang 2 → 002.wav
Tastereingang 3 → 004.wav
Tastereingang 4 → 008.wav

Würde man z. B. Taste 1 und 4 gleichzeitig betätigen, ergebe dies die Datei 009.wav. Es muss also die Wertigkeit der Tastereingänge addiert werden. Alle Tasten gleichzeitig gedrückt, ergäbe dann Datei 015.wav. Verwendet man ausschließlich Taster, sollten nur 4 Dateien verwendet werden. Eine binäre Ansteuerung ist nur mit einem Controller oder einer Tastenerweiterung (siehe „Tastenerweiterung“) sinnvoll, da man nur so wirklich zeitgleich die entsprechende Bit-Kombination ausgeben bzw. generieren kann.

In der Datei 000.txt wird der Wiedergabemodus konfiguriert. Es stehen 4 verschiedene Modi zur Verfügung. Die Datei kann mit einem Editor erstellt und verändert oder auch von der ELV-Seite [3] heruntergeladen werden. Der Inhalt dieser Datei (Original von Elm-Chan) sieht wie folgt aus:

```
3 # Trigger mode (0...3):
# 0:Level triggered
# 1:Level triggered (sustained)
# 2:Edge triggered
# 3:Edge triggered (retriggerable)
```

Ausschlaggebend ist die erste Ziffer, in diesem Beispiel die 3. Der Text hinter dem Raute-Zeichen (#) ist lediglich Kommentar und wird nicht ausgewertet.

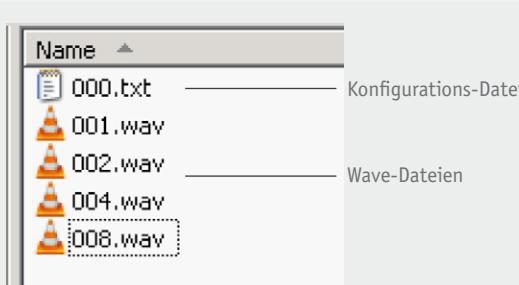


Bild 5: So sehen die Wave-Dateien im Ordner der SD-Karte aus.

Die erste Ziffer hat folgende Bedeutung:

- 0:** Pegelsteuerung, Titel wird so lange abgespielt und wiederholt, wie die Taste betätigt wird
 - 1:** Pegelsteuerung, wie Level 0, mit dem Unterschied, dass der Titel nach Loslassen der Taste bis zum Ende abgespielt wird.
 - 2:** Flankensteuerung, ein kurzer Tastendruck reicht zur Triggerung aus. Einmal gestartet, spielt der Titel bis zum Ende. Eine Auswahl eines anderen Titels ist erst dann möglich, wenn der laufende Titel zu Ende ist.
 - 3:** Wie Modus 2, jedoch eine „Retriggerung“ durch neuen Start eines Titels möglich.

Inbetriebnahme

Nachdem die Schaltung zusammengebaut ist, kann die Inbetriebnahme erfolgen. In Bild 6 ist ein typisches Anwendungsbeispiel mit Batteriebetrieb dargestellt.

Für alle Anschlüsse stehen fertig konfektionierte Anschlussleitungen zur Verfügung. Die Spannungsversorgung erfolgt über eine zweidrige Zuleitung, wobei hier unbedingt auf die richtige Polung zu achten ist (Bild 7).

Wie im Abschnitt „Schaltung“ beschrieben, ist standardmäßig eine Eingangsspannung von 3,5 bis 12 V erforderlich. Die Spannungsstabilisierung auf 3,3 V findet innerhalb der Schaltung statt. Wie in Bild 6 zu sehen, reichen hierfür drei in Reihe geschaltete 1,5-V-Batterien aus. Ein Ein-Aus-Schalter ist nicht notwendig, da die Schaltung im Ruhezustand nur 20 μ A aufnimmt.

Es gibt auch die Möglichkeit, die Schaltung mit 2,7 bis 3,3 V zu versorgen. Diese Betriebsart sollte allerdings nur von Experten und nicht von Anfängern verwendet werden. Bei zu hoher Eingangsspannung kann die Elektronik zerstört werden! Hierzu muss der

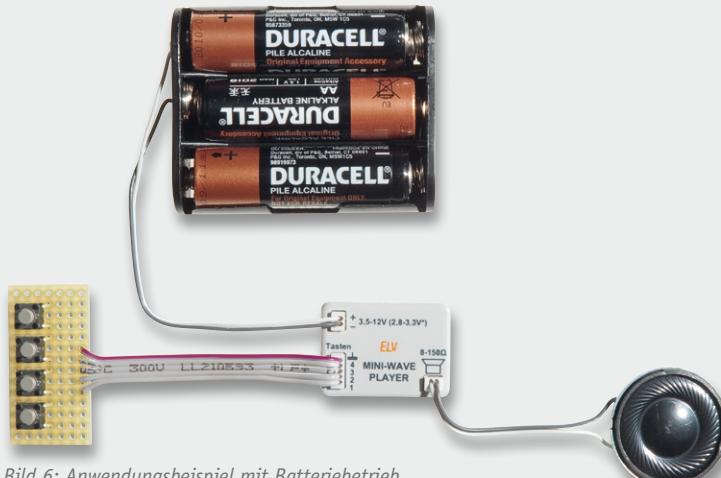


Bild 6: Anwendungsbeispiel mit Batteriebetrieb

Jumper J1 mit einem Messer aufgetrennt und stattdessen der Jumper J2 verloetzt werden ([Bild 8](#)). Das Überbrücken geschieht durch Herstellen einer Lötzinnbrücke (Aufbringen von Lötzinn). Beim Durchtrennen der Jumperverbindung J1 ist besondere Vorsicht geboten, da benachbarte Leitungen beschädigt werden können. In dieser Betriebsart ist der interne Spannungsregler deaktiviert. Unterhalb von 2,7 V funktioniert die Schaltung dann leider nicht mehr, so dass eine völlige Entladung einer 3-V-Batterie nicht möglich ist.

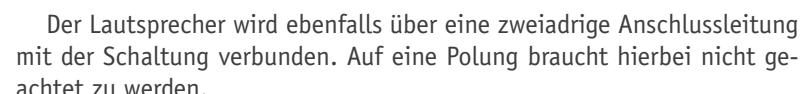
Die Buchse BU3 stellt 4 Eingänge zur Verfügung, die low-aktiv sind, d. h. der Taster oder Schalterkontakt muss gegen Masse geschaltet werden. Der Massekontakt ist farblich markiert. In unserem Beispiel sind die Taster auf einer Lochrasterplatine aufgelötet.

Wichtiger Hinweis!

Wichtiger Hinweis:
Alle Zuleitungen dürfen aus EMV-technischen Gründen eine Länge von 40 cm nicht überschreiten.



Bild 7: Die Polung für die Spannungsversorgung ist farblich gekennzeichnet.



Zum Thema Lautsprecher sind im folgenden Abschnitt „Lautsprecher“ noch einige Anmerkungen zu beachten.



Bild 8: Die Maßnahmen bei Verwendung einer Betriebsspannung von 2,7 bis 3,3 V, dazu unbedingt die Ausführungen im Text beachten!

Tastenerweiterung
Der Tastereingang des MWP1 erlaubt den direkten Anschluss von vier Tasten, mit denen dann vier verschiedene Wave-Dateien selektiert werden können. Möchte man die Anzahl der selektierbaren Dateien erhöhen, kann dies z. B. durch gleichzeitiges Betätigen zweier oder mehrerer Tasten geschehen, was nicht sehr praktisch ist. Bequemer geht es mit der in Bild 9 dargestellten Tastenerweiterung. Die zusätzlichen Taster werden über eine Diodenmatrix mit den Tastereingängen des MWP1 verbunden. Hierbei richtet man sich nach der binären Wertigkeit. Die Dateien 1, 2, 4 und 8 lassen sich ohne Diodenmatrix direkt selektieren. Alle anderen Dateien können nur durch Kombination der Tastereingänge selektiert werden.

Dazu ein Beispiel: Bei Soundfile Nr. 5 (005.wav) müssen Taste 1 (Wertigkeit 1) und Taste 3 (Wertigkeit 4) gleichzeitig aktiviert werden. Wie man in Bild 9 sieht, geschieht dies durch Dioden, d. h. beim Schließen von Taster 5 werden über zwei Dioden die Eingänge 1 und 3 auf Low-Potential gezogen. Die Kombinationen lassen sich jeweils durch einfache Addition der Wertigkeiten ermitteln. Als Diodentyp kann im Prinzip jede beliebige Diode eingesetzt werden wie z. B. die Standarddiode 1N4148.

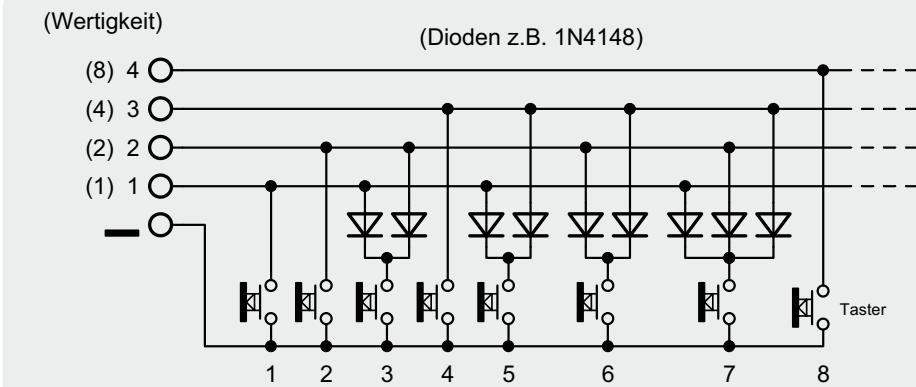


Bild 9: So kann der Eingang auf maximal 15 Tasten erweitert werden.

Akustischer Kurzschluss

Ein akustischer Kurzschluss kennzeichnet keinen realen Kurzschluss wie z. B. in der Elektroniktechnik, sondern beschreibt das gegenseitige Auslöschen von Schallwellen. Dieses Phänomen tritt in der Akustik bei der Erzeugung von Schallwellen mittels Lautsprecher auf. Physikalisch korrekt müsste man diese Effekte noch in Nah- und Fernfeld differenzieren. Die folgende Erklärung ist daher nicht zu sehr physikalisch, sondern allgemeinverständlich in einfache Worte gefasst.

Wenn sich bei einem offenen Lautsprecher, wie in Bild A zu sehen, die Membrane nach vorne bewegt, wird die Luft komprimiert (verdichtet) und es entsteht ein Überdruck. Hinter der Membran entsteht folglich ein Unterdruck. Wie die Pfeile in Bild A zeigen, strömt ein Teil der Luft seitlich am Lautsprecher vorbei und gleicht den Luftdruckunterschied wieder aus. Dieser Effekt zeigt sich besonders bei tiefen Frequenzen, da hier der Hub (Lautstärke) relativ groß ist. Hieraus kann man die Schlussfolgerung ziehen, dass ein offener Lautsprecher ohne Gehäuse bzw. andere Maßnahmen zur Aufhebung dieses Effektes nicht funktionieren können.

Abhilfe schafft hier ein Gehäuse oder eine Schallwand, mit denen der Luftdruckausgleich unterbunden wird. Idealerweise bräuchte man eine Schallwand, die größer als die Wellenlänge der Schallwelle ist, was sich in der Praxis aber nicht realisieren lässt. So mit werden in der Regel geschlossene Gehäuse für Lautsprecher verwendet. Es gibt allerdings noch einige Tricks, wie z. B. Bass-reflexboxen, mit denen man den Schalldruck im Tieftonbereich sogar noch verstärken kann.

Es gibt aber noch ein Beispiel, wo sich trotz Gehäuse Schallwellen gegenseitig auslöschen bzw. abschwächen. Denken wir an unsere heimische Stereoanlage oder die „Soundanlage“ im Auto. Bei Stereobetrieb werden ja bekanntlich zwei Lautsprecher verwendet. Hierbei ist, wie das folgende Beispiel zeigt, unbedingt auf phasenkorrekten Anschluss der Lautsprecher zu achten. Die Polung ist am Lautsprecher immer mit „+“ und „-“ gekennzeichnet. Wichtig ist, dass beide Lautsprecher korrekt an den Verstärker angeschlossen werden. Wird einer der Lautsprecher phasenverkehrt angeschlossen, wie es in Bild B dargestellt ist, kommt es ebenfalls zur Auslöschung von Schallwellen. Während sich die Membrane des einen Lautsprechers nach außen bewegt, ist es bei dem zweiten Lautsprecher genau entgegengesetzt. Hierdurch entsteht vor allem bei tiefen Frequenzen ein unnatürlicher Klangeindruck, da im schlimmsten Fall keine Bässe mehr hörbar

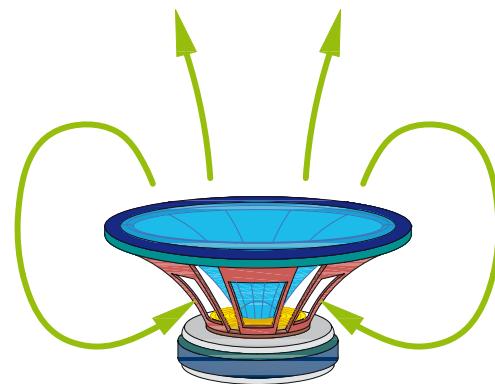


Bild A: Bei einem offenen Lautsprecher werden die Luftdruckunterschiede ausgeglichen

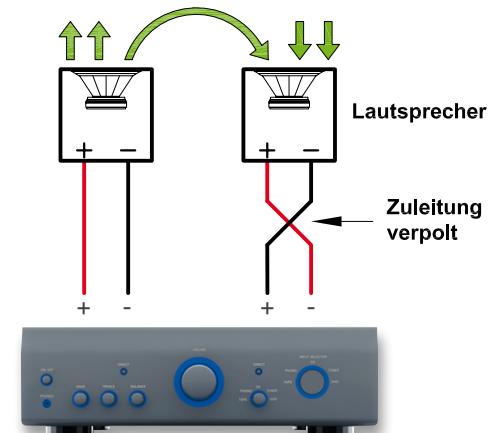


Bild B: Bei „Verpolung“ eines Lautsprechers heben sich die Schallwellen zum Teil gegenseitig auf.

sind. Je näher die Lautsprecher räumlich zu einander stehen, desto stärker wird dieser Effekt. Dies ist vor allem im Auto der Fall, da hier die Lautsprecher in der Regel nur max. 1 m voneinander entfernt montiert sind. Deshalb sollte man beim Anschluss von Stereolautsprechern immer auf den phasenrichtigen Anschluss achten! Die Polung ist direkt an den Lautsprecheranschlüssen markiert.



Bild 10: Verschiedene Lautsprecher mit unterschiedlichen Durchmessern



Bild 11: Lautsprecher, in einem Kunststoffrohr montiert

Lautsprecher

Die Größe, also die mechanischen Abmessungen, des verwendeten Lautsprechers spielen für die Lautstärke eine entscheidende Rolle. Grundsätzlich kann man sagen: je größer der Lautsprecher, desto höher ist die erreichbare Lautstärke. Aber auch die Impedanz ist maßgeblich für die Lautstärke. Es können Lautsprecher mit einer Impedanz von 8 bis 150 Ω verwendet werden. Bei einer Impedanz von 8 Ω wird rechnerisch eine maximale Leistung von 250 mW abgegeben. Praxistests haben ergeben, dass eine Impedanz von ca. 32 Ω aufwärts das beste Lautstärke-Ergebnis ergeben. Dies hängt damit zusammen, dass die Ausgänge des Controllers direkt zur Ansteuerung des Lautsprechers verwendet werden. Bei relativ kleinen Impedanzen (bis 32 Ω) bricht die Ausgangsspannung geringfügig zusammen, da die Portausgänge den „hohen“ Strom nicht liefern können. Aber keine Sorge, es entsteht hierdurch kein Schaden am Controller! Bei höheren Impedanzen wird die volle Ausgangsspannung genutzt, was zu einer hörbaren Lautstärkenerhöhung beiträgt.

Ein anderer entscheidender Gesichtspunkt ist das Gehäuse. Ohne Gehäuse kann ein Lautsprecher nicht funktionieren! Die Ursache hierfür ist der „akustische Kurzschluss“, der bei jedem offenen Lautsprecher auftritt ([siehe „Elektronikwissen“](#)). Durch ein Gehäuse wird der akustische Kurzschluss verhindert bzw. durch eine Schallwand oder eine andere Maßnahme vermindernt.

In [Bild 10](#) sind Lautsprecher in unterschiedlichen Größen dargestellt. Die Auswahl wird nach dem zur Verfügung stehenden Platz getroffen. Möchte man die Schaltung im begrenzten Raum, wie z. B. in einem Spielzeugmodell, unterbringen, wählt man zweckmäßigerweise einen kleinen Miniaturlautsprecher. Hier lässt sich natürlich kein großes Gehäuse unterbringen, in diesem Fall ist Improvisieren und Experimentieren angesagt.

Statt eines geschlossenen Gehäuses kann man auch ein Rohr aus Kunststoff verwenden ([Bild 11](#)). Bleibt das Rohr an einer Seite offen, entstehen Resonanzerhöhungen durch die Luftsäule innerhalb des Rohres. Je nach Länge des Rohres werden bestimmte Frequenzen angehoben (Prinzip einer Orgelpfeife). Dies kann sehr nützlich sein, wenn sich das Audiosignal nur im einem eingegrenzten Frequenzspektrum befindet. Möchte man z. B. den Pfeifton einer Modellbau-

lokomotive wiedergeben, kann man mit der Länge des Rohres experimentieren, bis eine optimale Lautstärke gefunden ist.

Natürlich kann auch der Einbauort als Gehäuse verwendet werden. Es sollten dann entsprechende Schallaustrittsöffnungen (z. B. Bohrungen) eingebracht werden. Es ist hierbei darauf zu achten, dass man die Wirkung des akustischen Kurzschlusses möglichst klein hält.

Vorsicht: Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass der Einbau in andere Geräte nicht erlaubt ist. Insbesondere dürfen keine mit Netzspannung versorgten Geräte geöffnet und verändert werden.

Ein anderes Beispiel zur Lautstärkenerhöhung zeigt sich am Beispiel einer elektrischen Grußkarte. Hier ist der Lautsprecher auf ein Stück Pappe oder Papier aufgeklebt. Hierdurch wird zum einen das Trägermaterial mit in Schwingung versetzt, wodurch sich praktisch die Membranfläche erhöht, und zum anderen auch der akustische Kurzschluss für bestimmte Frequenzen unterdrückt. Letztendlich sei gesagt, dass ein wenig Experimentieren der beste Weg ist, um die optimale Lautstärke zu erreichen. In der Industrie, z. B. bei Handyherstellern, beschäftigen sich Ingenieure nur mit dem Optimieren des Gehäuses, um bestmögliche Lautstärken auf kleinem Raum (Handygehäuse) zu erzielen. Das zeigt, dass diese Problematik nicht ganz trivial ist und fundierte Kenntnisse erfordert. **ELV**



Weitere Infos:

- [1] elm-chan.org/works/sd20p/report.html
- [2] www.audacity.sourceforge.net
- [3] Produktseite im ELV Web-Shop:
Webcode #1253
- [4] www.sdcard.org/home