

Mit Plasma Töne erzeugen

KONZEPTION UND BAU EINES PLASMA-LAUTSPRECHERS

Konventionelle Lautsprecher haben Nachteile: Die schwingende Membran verursacht aufgrund ihrer Masse Verzerrungen und kann den Schall nur in einem gerichteten Kegel abgeben. Beim Plasma-Lautsprecher dagegen wird der Schall durch ein Plasma erzeugt, das durch richtig getaktetes Ein- und Ausschalten eine Membran simulieren kann – jedoch trägheitsfrei und deshalb ohne Verzerrungen.

DIE JUNGFORSCHER

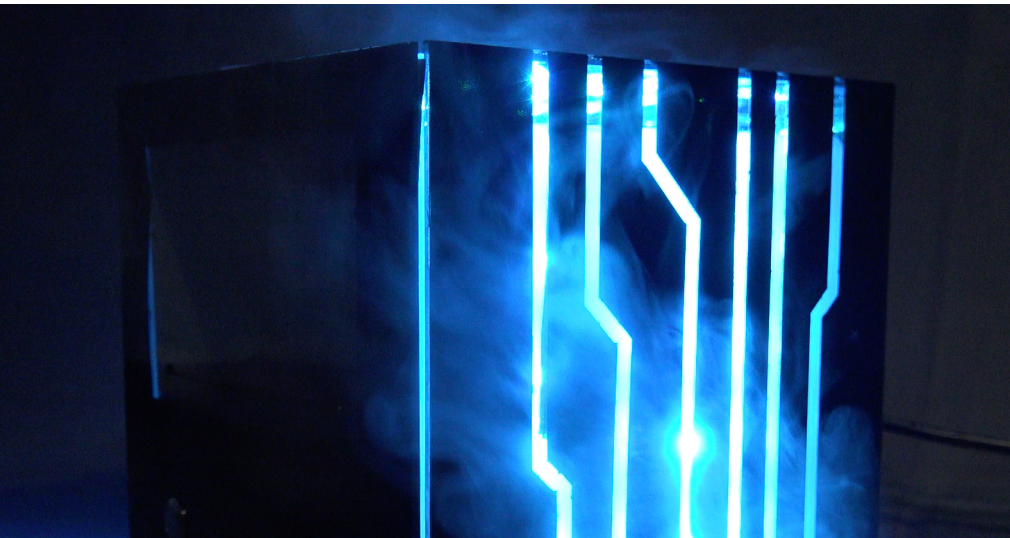


Marcel Schreiner (1997)
Manuel Böbel (1996)

BZT Bildungszentrum
für Technik Frauenfeld
8500 Frauenfeld, Schweiz

Eingang der Arbeit:
13.6.2017

Arbeit angenommen:
28.8.2017



Mit Plasma Töne erzeugen

KONZEPTION UND BAU EINES PLASMA-LAUTSPRECHERS

1. Einleitung

1.1 Anforderungen an einen Lautsprecher

Jeder klassische Lautsprecher verfügt über eine sogenannte Membran, welche

beweglich aufgehängt ist. Diese Membran wird durch einen Elektromagneten vor- und zurückgestoßen. Diese hin- und-her-Bewegung überträgt sich auf die Luft, und die dabei entstehenden Schallwellen können wir mit unseren Ohren wahrnehmen.

So simpel der Aufbau sein mag, weist er doch Mängel auf. Insbesondere bei zwei Eigenschaften zeigt sich ein Plasma-Lautsprecher als viel näher an der idealen Schallquelle als ein klassischer Lautsprecher.

Beim Plasma-Lautsprecher wird mit einem Plasma (elektrischer Funken) die Umgebungsluft des Plasmas erhitzt und kühlt anschließend wieder ab. Durch die Volumenausdehnung der Luft kann die gleiche hin-und-her-Bewegung erzielt werden, wie sie bei einem herkömmlichen Lautsprecher mit einer Membran erzeugt wird. Diese Membran verursacht beim klassischen Lautsprecher jedoch Verzerrungen, da sie eine Masse aufweist und für jede Schwingung beschleunigt und abgebremst werden muss. Da beim Plasma-Lautsprecher Luft als Membran verwendet wird und diese nahezu keine Masse hat, kann dieses Konzept als ideal betrachtet werden.

Weiter strahlt eine ideale Schallquelle den Schall in alle Richtungen ab. Auch dieses Kriterium kann der Plasma-Lautsprecher erfüllen. Das Plasma ist sehr klein und kann den Schall in fast jede Richtung abstrahlen. Ein klassischer Lautsprecher hingegen ist nur in der Lage, einen gerichteten Schallkegel abzugeben. [1, 2, 3]

1.2 Nachteile des Plasma-Lautsprecher

Plasma-Lautsprecher erzeugen Ozon, was insbesondere für Zimmerpflanzen tödliche Folgen haben kann. Die Auswirkungen auf den Menschen sind nicht ganz so verheerend. Jedoch können erhöhte Ozon-Anteile in der Luft, welche über mehrere Stunden eingeatmet werden, Atemwegsprobleme, Hustenreiz und Kopfschmerzen verursachen.

Da unsere Version des Plasma-Lautsprechers allerdings nur ein „*proof of concept*“ und nicht für einen Dauerbetrieb ausgelegt ist, sind die gesund-

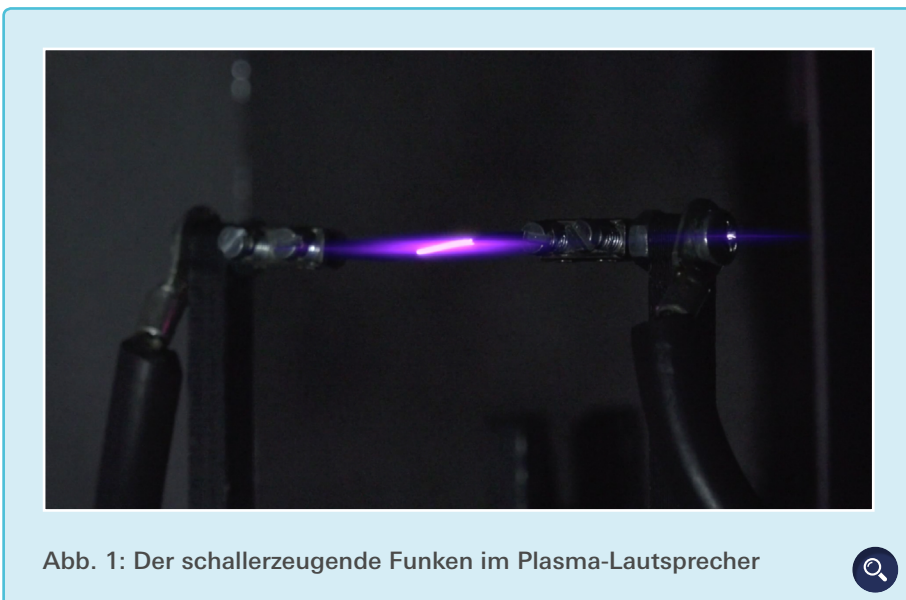


Abb. 1: Der schallerzeugende Funken im Plasma-Lautsprecher



heitlichen Folgen aufgrund der kleinen Dosen vernachlässigbar. Für einen Dauerbetrieb müsste ein Katalysator verbaut werden.

Ein weiterer Nachteil ist, dass ein Plasma-Lautsprecher nur als Hochtöner eingesetzt werden kann. Der Grund liegt darin, dass für die Wiedergabe tiefer Frequenzen eine zu hohe Leistung erforderlich wäre. Für einen Einsatz in einer Stereoanlage müssten somit zusätzlich konventionelle Tieftöner eingesetzt werden. [3, 8]

1.3 Stand der Technik

Es ist möglich, Plasma-Lautsprecher für den professionellen HiFi-Einsatz zu kaufen. Für diese muss allerdings mit 5.000 bis 100.000 Franken (4400 – 88.000 Euro, Anm. d. Red.) gerechnet werden. Bekannte Hersteller sind zum Beispiel Magnat und Acapella.

Der Markt um die Plasma-Lautsprecher ist sehr mager. Zwar locken die Vorteile einer nahezu idealen Schallquelle, doch sind die genannten Nachteile große Bremsklötze. Wenn insbesondere die Ausstoßung des Ozons eingedämmt werden könnte, würden Plasma-Lautsprecher in Zukunft vielleicht vermehrt in Wohnzimmern anzutreffen sein. [1, 4, 3]

2. Grundlegende Informationen zum Plasma

Plasma kommt häufiger vor, als es der Laie vermuten würde. Bekannte Beispiele sind Nordlichter oder auch Blitze, die bei einem Gewitter oder, im ganz kleinen Format, bei einem elektrischen Kurzschluss entstehen. Auch alle Sterne sind Plasmen. 99 % von allem, was im Universum als leuchtend wahrgenommen werden kann, befindet sich im Plasmazustand.

Auch im Alltag ist Plasma allgegenwärtig. So befindet sich das Gas in jeder Leuchtstoffröhre im Plasmazustand. Plasmabildschirme haben für

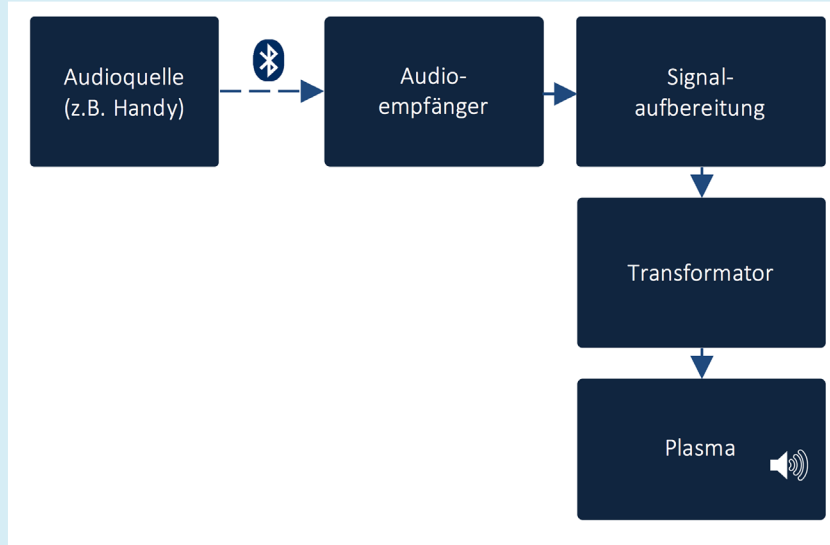


Abb. 2: Elektronisches Konzept



Glossar

Dreiecksignal

Spannungssignal, welches zwischen zwei Spannungen schwankt und ein Dreieck bildet.

Feldeffekttransistor (FET)

Elektrischer Schalter, der je nach Eingangsspannung am einen Anschluss die zwei anderen Anschlüsse elektrisch miteinander verbindet oder trennt, ohne dass zwei mechanische Kontakte geschaltet werden.

GND

Abkürzung für Ground – Bezugspotential aller Spannungen.

Invertieren

Ein invertiertes Signal wird umgedreht (high wird zu low, low zu high).

Mikrocontroller

Bauteil, welches aus einem Prozessor und der Peripherie (wie z.B. Taktquelle, Arbeits- und Programmspeicher, Zeitgeber, ...) besteht. Dieses Bauteil kann programmiert werden, liest Eingänge ein, führt verschiedenste Rechenoperationen aus und gibt Signale aus.

Operationsverstärker

Bauteil, welches das eingehende Signal – abhängig von der Beschaltung mit Widerständen – verstärkt.

Potentiometer

Ein durch einen drehbaren Abgriff verstellbarer Widerstand.

Print

Unter Print wird eine mit Bauteilen bestückte Leiterplatte verstanden, somit befindet sich die elektronische Schaltung darauf.

Pulsweitenmoduliertes Signal

Die Spannung wechselt zwischen zwei Werten (high/low). Das PWM-Signal hat eine gleichbleibende Frequenz, bei der das Verhältnis der Dauer von high und low je nach Wert verändert wird.

Servo

Kleiner Motor, der in einem begrenzten Winkel eine vorgegebene Position anfährt und hält.

Transformator

Bauelement, das mittels Erzeugen eines magnetischen Feldes eine Wechselspannung in eine höhere oder tiefere Wechselspannung umwandelt.

jeden Pixel einzelne Gaskammern, welche gezündet werden können. Etwas, was nie in technischen Ausstellungen fehlt, sind Plasmaleuchten – die runden Glaskugeln, in welchen blaue Blitze tanzen. [6, 7]

2.1 Der Plasmazustand

Es gibt drei klassische Aggregatzustände: fest, flüssig und gasförmig. Die Stoffe ändern diese in Abhängigkeit vom Umgebungsdruck und der Temperatur. Es gibt in der Physik aber auch noch weitere, nicht klassische Zustände, zu welchen auch der Plasmazustand gehört.

Wenn Gase genügend stark erhitzt werden, werden Elektronen aus der Atomhülle geschlagen, es entstehen freie Elektronen. Ein Plasma ist also ein vollständig oder teilweise ionisiertes Gas. Durch die Ionisation wird ein Plasma zu einem stromleitenden Stoff und emittiert Licht. Auch eine Flamme ist in geringen Maßen im Plasmazustand und kann deshalb ein wenig Strom leiten.

Der Plasmazustand wird auch oft als vierter Aggregatzustand bezeichnet [6, 7].

2.2 Plasmaerzeugung

Prinzipiell ist nicht viel nötig, um ein Plasma zu erzeugen. Ein Gas muss genügend stark erhitzt werden, damit sich die Elektronen vom Atomrumpf trennen.

Im Weltall sind Plasmen langlebig, da kein Umgebungsdruck die Atome „zusammendrückt“. Auf der Erde herrscht ein größerer Umgebungsdruck, was die Atomkerne und Elektronen schneller wieder rekombinieren lässt. Ist jedoch die Ionisationsrate höher oder gleich der Rekombinationsrate, bleibt das Plasma bestehen. Im Hinblick auf den Plasma-Lautsprecher muss also die Luft genügend stark erhitzt werden, um das Plasma erhalten zu können.

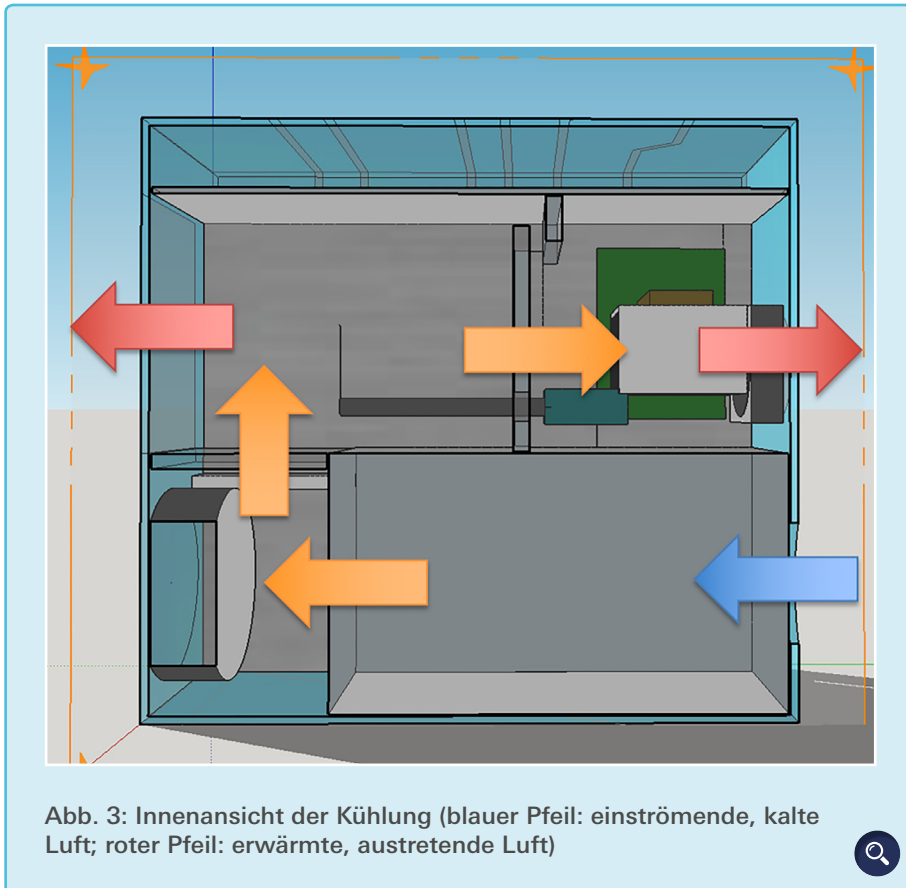


Abb. 3: Innenansicht der Kühlung (blauer Pfeil: einströmende, kalte Luft; roter Pfeil: erwärmte, austretende Luft)

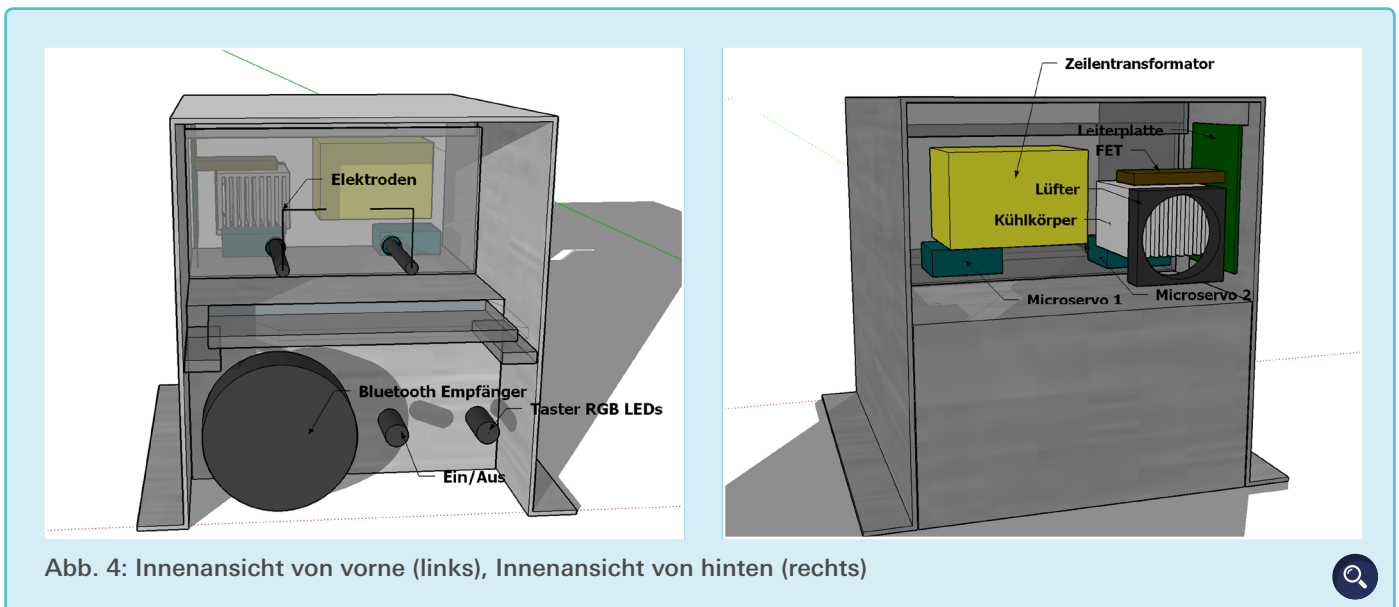


Abb. 4: Innenansicht von vorne (links), Innenansicht von hinten (rechts)



Einer der gangbarsten Wege dafür ist es, einen Strom durch das Gas fließen zu lassen. Das einzige Problem dabei ist aber, dass Umgebungsluft ein guter Isolator ist. Um den hohen Ohm'schen Widerstand überwinden zu können, muss eine sehr hohe Spannung verwendet werden. Zur Überwindung von einer Strecke von 1 cm ist eine Spannung von mindestens 10 kV notwendig.

Damit die benötigte Leistung bereitgestellt werden kann, muss bei der hohen Spannung auch ein großer Strom fließen. Daher sind ein Spannungstransformer und ein Netzgerät mit großer Leistung erforderlich. Die zugeführte Energie gibt das Plasma in Form von Hitze und Licht wieder ab (siehe [Abb. 1](#)). [5, 6, 7]

3. Konzept

Die Arbeit wurde in die Bereiche Elektronik und Mechanik unterteilt. Die Elektronik umfasst dabei die gesamte Schaltung, die nötig ist, um den Plasma Speaker (Eigenname unseres Plasma-Lautsprechers) zum Laufen zu bringen. Die Mechanik beschreibt vorwiegend den Aufbau des Gehäuses.

3.1 Elektronisches Konzept

Wie in [Abb. 2](#) zu sehen ist, besteht das System aus zwei getrennten Elementen. Das erste ist die Audioquelle. Sie bestimmt, was abgespielt werden soll und überträgt die Musik per Bluetooth an

das zweite Element – den eigentlichen Lautsprecher. Der darin verbaute Audioempfänger wandelt das empfangene Bluetooth-Signal in ein analoges Signal um. Dieses wird von der Signalaufbereitungsschaltung in ein pulswidenmoduliertes Signal (PWM-Signal) mit



Abb.5: Beleuchtung des Gehäuses

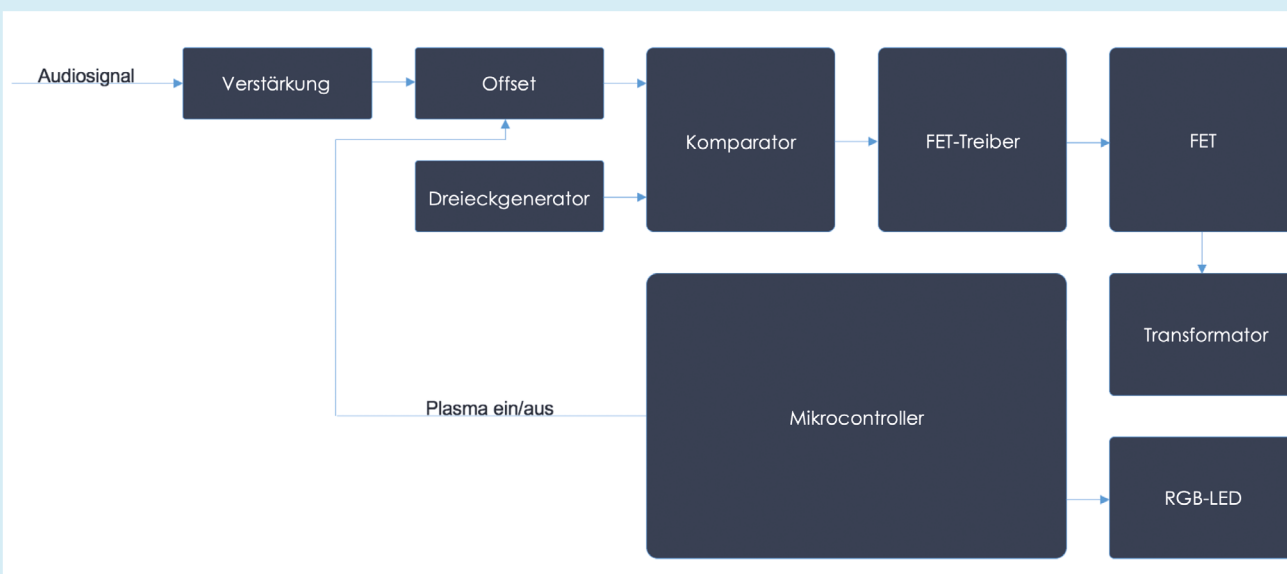


Abb. 6: Blockschaltbild Elektronik



einer Grundfrequenz von ca. 40 kHz umgewandelt. Nachfolgend wird damit der Transformator angesteuert, welcher eine Spannung von ca. 15 kV generiert. Das Hochspannungssignal wiederum wird auf zwei Elektroden geführt, die sich mit einem Abstand von ca. 1 cm gegenüberstehen. Die hohe Span-

nung schlägt durch und bildet so in der Luft ein Plasma. Durch die entstehende Wärme dehnt sich die Luft aus. Wird das Plasma nun wiederholt mit sehr kurzen Abständen ein- und ausgeschaltet, wird die Luft in Schwingung versetzt. Diese erzeugt Schallwellen, welche der Mensch wahrnimmt. Mit

diesem Prinzip wird die Musik, die anfänglich nur aus digitalen Informationen besteht, hörbar. Die detaillierte Erklärung der elektronischen Schaltung befindet sich im Kapitel „Bauanleitung“.

3.2 Mechanischer Aufbau

Der ganze Lautsprecher wird von einem Gehäuse umschlossen – dies primär aus Sicherheitsgründen. Es treten Spannungen von ca. 15.000 Volt auf. Das Gehäuse umgibt die Elektronik und das Plasma. So wird ein rundum sicherer Berührungsschutz gewährleistet.

Ein Gehäuse bringt aber auch den Nachteil mit sich, dass sich darin Hitze ansammeln kann. Um dem entgegenzuwirken, wurde ein Kühlsystem geschaffen, welches hinten am Gehäuse kalte Luft von unten einsaugt, diese durch den ganzen Aufbau leitet und schließlich weiter oben wieder ausstößt (siehe [Abb. 3](#)).

Der Platz im Gehäuse wird primär durch das Netzteil vorgegeben. Dieses und eine Trennwand teilen das Gehäuse in zwei Kammern.

Die Komponenten werden von einem geerdeten Aluminium-Rahmen umgeben, welcher eine zusätzliche Schutzmaßnahme ist. Wie in [Abb. 4](#) dargestellt, sind vorne im unteren Bereich Bedienelemente und Bluetooth-Empfänger positioniert. Über zwei Taster lässt sich das Plasma starten und die Beleuchtung steuern. Der Bluetooth-Empfänger empfängt das vom Smartphone gesendete Audiosignal. Über den Bedienelementen ist die Plasma-Kammer mit den Elektroden platziert. Zwischen den Elektroden wird das Plasma gezündet. Ursprünglich war angedacht, dass die Elektroden durch Servos (kleine Motoren) zum Zünden zusammen- und während des Betriebs wieder auseinandergefahren werden können. Diese Funktion hat sich aber als unnötig herausgestellt. Das Plasma konnte auch ohne das Zusammenfahren der Elektroden gezündet werden. Deshalb werden die Servos in der aktuellen Software-Version auch nicht mehr

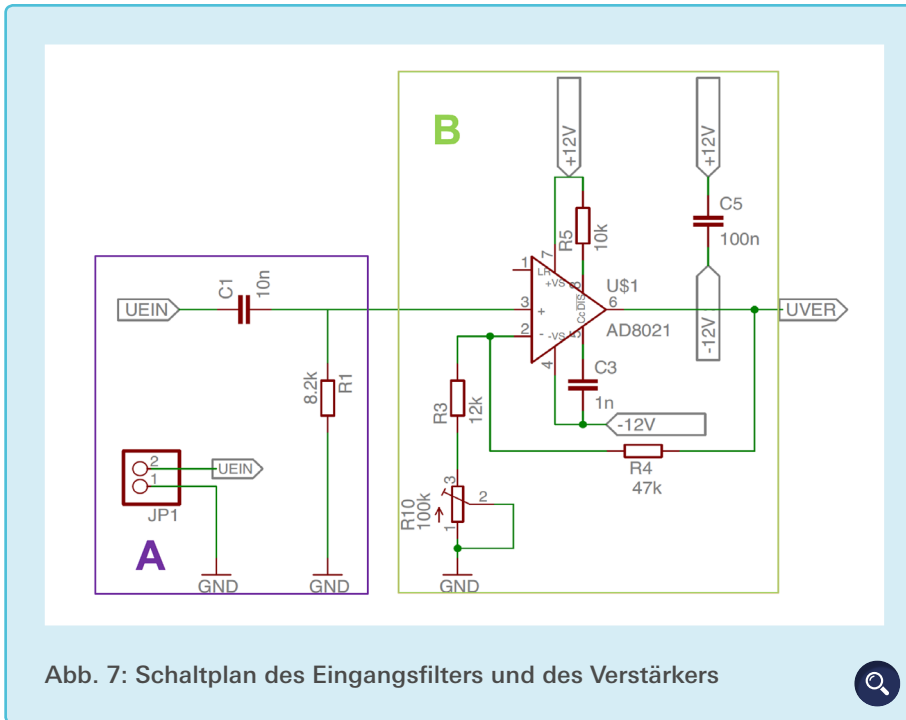


Abb. 7: Schaltplan des Eingangsfilters und des Verstärkers

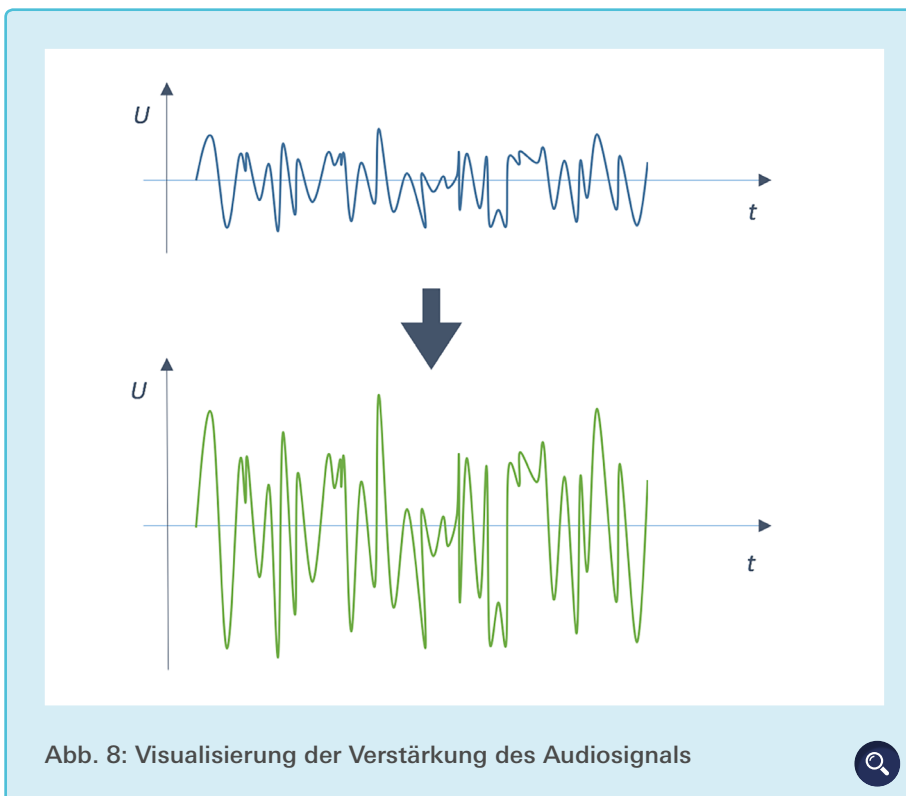


Abb. 8: Visualisierung der Verstärkung des Audiosignals

angesteuert und in diesem Bericht nicht weiter erwähnt.

Hinter der Trennwand [Abb. 4](#) sind der Hochspannungstransformator, der Print mit der gesamten Elektronik und ein Lüfter eingebaut. Es hat sich herausgestellt, dass der Platz für die Elektronik recht optimistisch geplant war, und dass bei einem Neu- bzw. Nachbau besser ein etwas größeres Gehäuse ausgewählt werden sollte.

Um den Aluminium-Rahmen ist das eigentliche Gehäuse aus Acrylglas verbaut. Dieses Gehäuse verleiht dem Lautsprecher sein Aussehen. Auf der Innenseite des Acrylglases sind RGB-LED-Strips angeklebt, die in verschiedenen Farben leuchten können. Wie in [Abb. 5](#) zu sehen ist, wurde das Plexiglas von außen bis auf einige dünne Schlitzte mit schwarzer Farbe lackiert. Dadurch kann das Licht, welches vom Alu-Rahmen reflektiert wird, nur durch diese Schlitzte schimmern, was dem Würfel sein technisches Aussehen verleiht.

4. Bauanleitung

In diesem Kapitel befindet sich alles, was benötigt wird, um einen eigenen Plasma Speaker zu bauen. [Abb. 6](#) zeigt das Blockschaltbild. Im Folgenden werden die Funktionen der einzelnen Schema-Blöcke erklärt.

4.1 Eingangsfiler und Verstärkung

In diesem Block wird das Audiosignal zum ersten Mal verändert. Tiefe Frequenzen werden herausgefiltert, damit der Hochspannungstransformator nicht überlastet wird. Anschließend wird das Signal verstärkt.

In der Teilschaltung A (siehe [Abb. 7](#)) wird das Audiosignal auf den Print geführt. Das CR-Glied (C1 & R1) wirkt als Hochpassfilter. Mit den verbauten Widerstands- bzw. Kondensatorwerten werden Frequenzen unter 2 kHz herausgefiltert.

Siehe [Formel \(1\)](#)

Das Audiosignal wird in der Teilschaltung B (siehe [Abb. 7](#)) verstärkt. Durch das Potentiometer R10 kann der Verstärkungsfaktor V angepasst werden.

Potentiometer auf 100 kΩ

Siehe [Formel \(2\)](#)

Potentiometer auf 0 kΩ

Siehe [Formel \(3\)](#)

Die Verstärkung (siehe [Abb. 8](#)) ist zwischen 1,42 und 4,92 frei wählbar. Durch

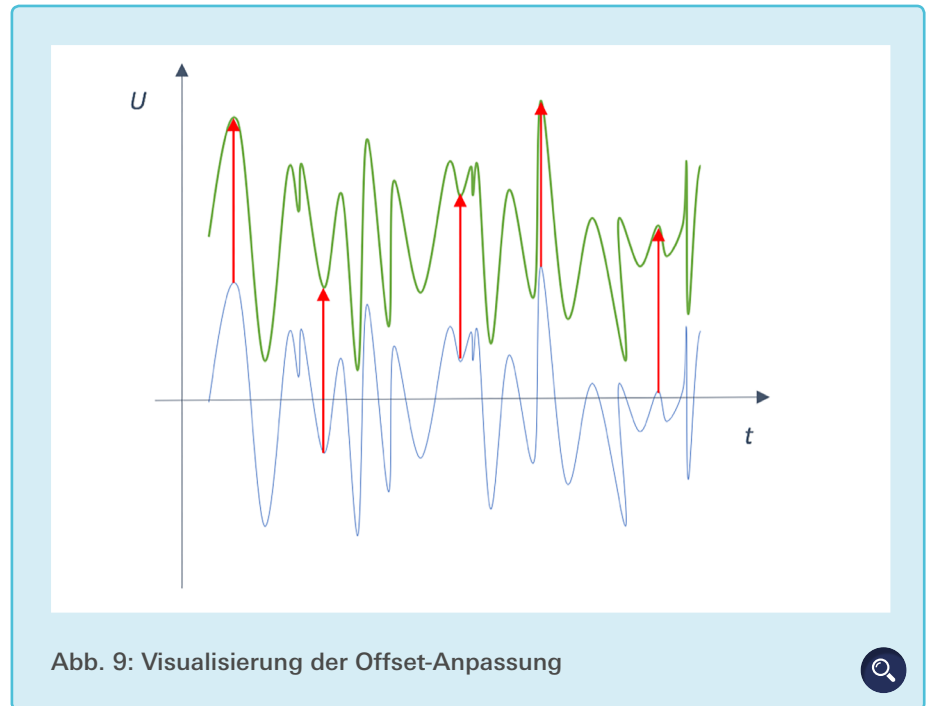


Abb. 9: Visualisierung der Offset-Anpassung



$$f_g = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 8,2 \text{ k}\Omega \cdot 10 \text{ nF}} = 1,94 \text{ kHz}$$

Formel (1)

$$V_{min} = 1 + \frac{R4}{R3 + R10max} = 1 + \frac{47 \text{ k}\Omega}{12 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega} = 1,42$$

Formel (2)

$$V_{max} = 1 + \frac{R4}{R3 + R10min} = 1 + \frac{47 \text{ k}\Omega}{12 \text{ k}\Omega + 0 \Omega} = 4,92$$

Formel (3)

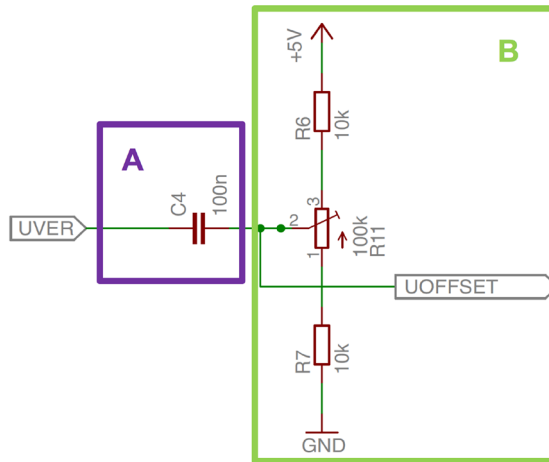


Abb. 10: Schaltplan der Offset-Anpassung

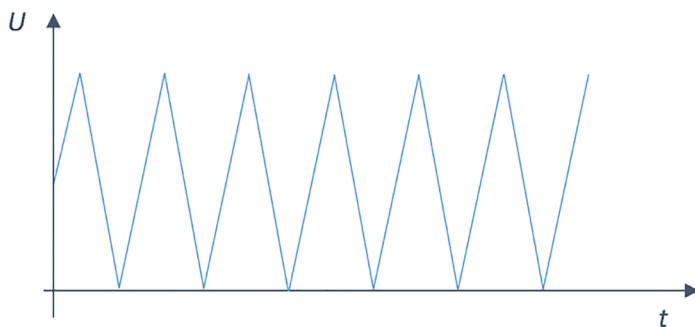


Abb. 11: Visualisierung der Dreiecksspannung

$$U_{max} = U \cdot \frac{R7 + R11}{R7 + R11 + R6} = 3V \cdot \frac{10 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega}$$

$$U_{max} = 4,58V$$

Formel (4)

$$U_{min} = U \cdot \frac{R7}{R7 + R11 + R6} = 3V \cdot \frac{10 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega + 100 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega}$$

$$U_{min} = 0,42V$$

Formel (5)

die Justiermöglichkeit kann die optimale Verstärkung des Audiosignals eingestellt werden, wenn der Lautsprecher in Betrieb genommen wird. Dies ist vor allem für die Verwendung verschiedener Transformatoren von Vorteil. So kann das nachfolgend generierte PWM-Signal und somit die Lautstärke gezielt beeinflusst werden.

4.2 Offset-Anpassung

Dieses Modul schiebt die gesamte Audiokurve in den positiven Spannungsbereich (siehe [Abb. 9](#)).

[Abb. 10](#) zeigt den Schaltplan der Offset-Anpassung. In Teilschaltung A lässt der Kondensator C4 nur den Wechselspannungsanteil des Signals passieren. In Teilschaltung B bilden die Widerstände R6, R7 und das Potentiometer R11 gemeinsam einen Spannungsteiler. Mit dem Potentiometer kann die Gleichspannung im Bereich von 8,3 % und 91,6 % der angelegten Spannung von 5 V eingestellt werden. Das heißt, dass die Gleichspannung und damit der Offset mindestens 0,42 V und maximal 4,58 V beträgt. R6 und R7 schützen den Operationsverstärker des Blocks „Eingangsfiler und Verstärkung“, sodass dessen Ausgang, bei falscher Einstellung des Potentiometers R11, nicht über den Kondensator C4 gegen +5 V oder GND kurzgeschlossen wird.

Es muss beachtet werden, dass der Spannungsteiler und der Kondensator C4 gemeinsam einen Tiefpass bilden. Wenn bei einem Nachbau die Widerstände verändert werden, muss zwingend auch der Kondensator angepasst werden. Sonst könnte die Grenzfrequenz des Tiefpasses zu hoch sein.

Potentiometer auf 100 kΩ

Siehe [Formel \(4\)](#)

Potentiometer auf 0 kΩ

Siehe [Formel \(5\)](#)

4.3 Dreieck-Generator

Dieser Schaltungsteil generiert unabhängig vom Audiosignal eine Dreiecksspannung (siehe [Abb. 11](#)).

Der rechte Operationsverstärker in [Abb. 12](#) (kurz: OP) wirkt als Integrator. Das Eingangssignal dieses Operationsverstärkers ist eine Rechteckspannung. Mit Hilfe des Kondensators C19 wird aus der Rechteckspannung eine Dreiecksspannung generiert. Der linke Operationsverstärker wiederum generiert aus dem Dreieckssignal das Rechtecksignal, das dann vom rechten OP als Grundlage für das Dreieckssignal verwendet wird.

Durch diese Beschaltung wird eine Endlosschleife gebildet, die das Dreieckssignal generiert. Die Frequenz des Dreiecks bestimmt zugleich die Grundfrequenz des später generierten PWMs. Für den von uns verwendeten Zeilentransformator liegt die Nominalfrequenz bei ca. 20 kHz. Da das System dabei aber nicht effizient arbeitete und ein Pfeifen wahrnehmbar war, haben wir uns für eine Verdoppelung der Frequenz auf 40 kHz entschieden. Diese Auslegung sollte jedoch für jeden Zeilentransformator separat angepasst werden.

4.4 Komparator und PWM-Generator

Das erzeugte Dreieckssignal wird in diesem Block mit dem bearbeiteten Audiosignal zusammengeführt und daraus ein pulswidenmoduliertes Signal (PWM) generiert (siehe [Abb. 13](#)).

Der Operationsverstärker (IC3P) (siehe [Abb. 14](#)) arbeitet als Komparator. Er vergleicht die zwei Eingangsspannungen. Ist die Spannung des Audiosignals höher als die Spannung des Dreieckssignals, wird der Ausgang auf High (+5 V) geschaltet. Wenn das Dreieckssignal höher ist als die Audiosignal-Spannung, wird der Ausgang auf Low (0 V) geschaltet.

Das eben erzeugte Signal wird als pulswidenmoduliertes Signal bezeichnet. Das Signal besteht nur noch aus zwei verschiedenen Zuständen, welche mit der Frequenz des Dreiecks alternieren. Das Verhältnis zwischen Low und High repräsentiert die Amplitude des Audiosignals.

Die Umwandlung in ein PWM ist nötig, damit der Ausgangstreiber, der den

Zeilentransformator ansteuert, verlustarmer schalten kann.

4.5 FET-Treiber

Da der Feld-Effekt-Transistor durch seine Schalteigenschaften kurzzeitig viel Strom aufnimmt, muss ein FET-Treiber eingebaut werden ([Abb. 15](#)), der ihn ansteuert. Dieser verändert das ei-

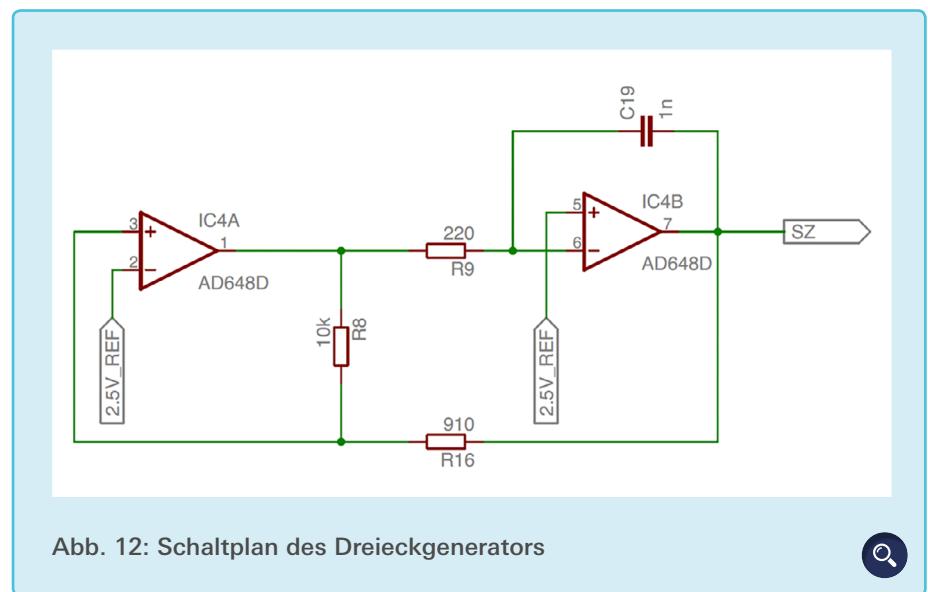


Abb. 12: Schaltplan des Dreieckgenerators

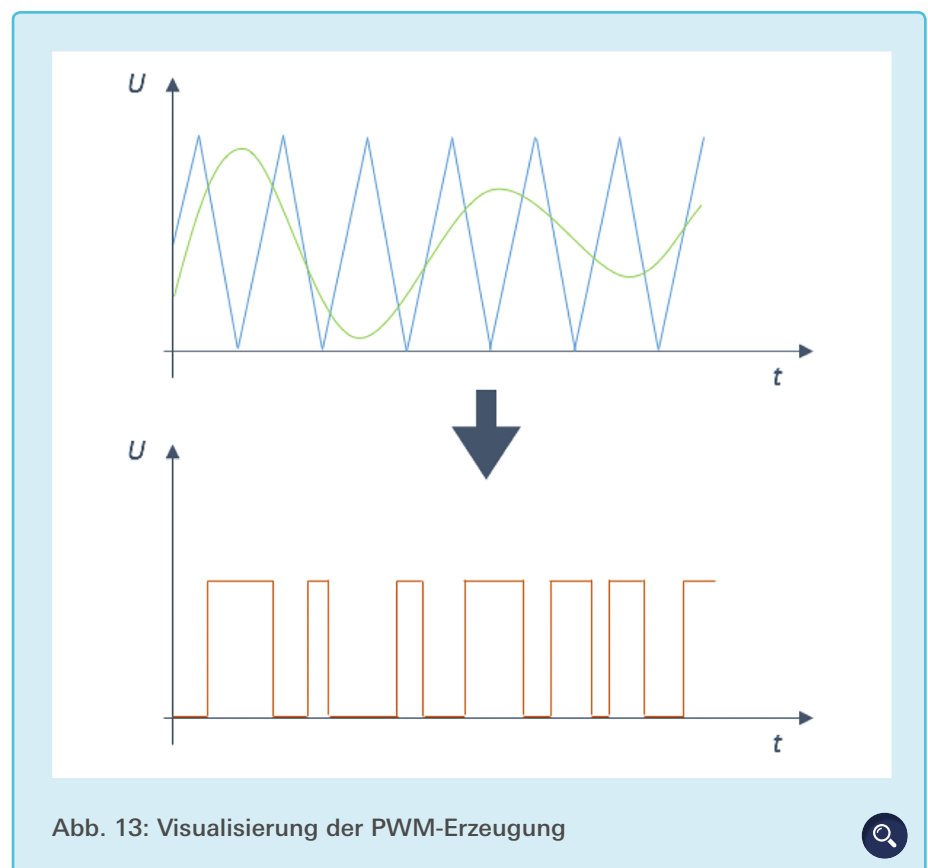


Abb. 13: Visualisierung der PWM-Erzeugung

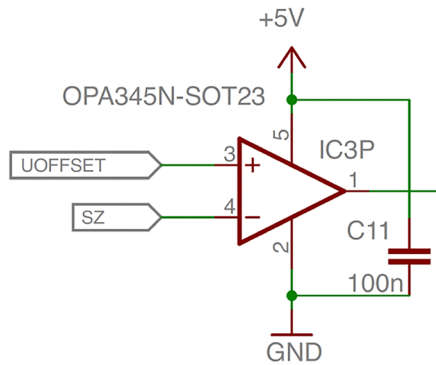


Abb. 14: Schaltplan des PWM-Generators

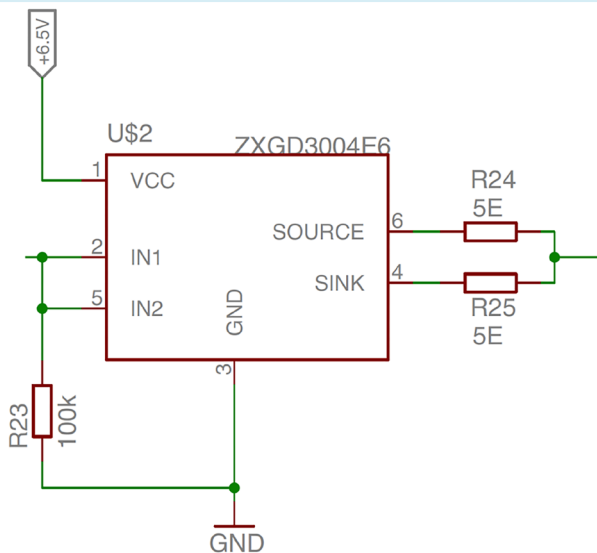


Abb. 15: Schaltplan des FET-Treibers

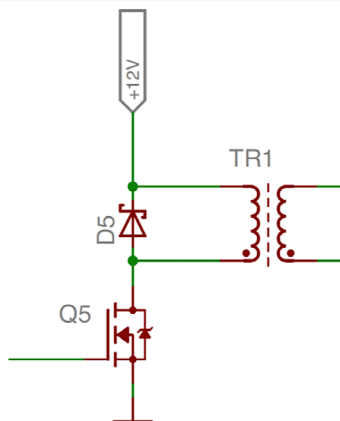


Abb.16: Schaltplan für den Anschluss des Transformators



gentliche Signal zwar nicht, kann aber deutlich mehr Strom treiben als der Komparator. Um den FET-Treiber zu schützen, wird der Stromfluss durch die zwei 5- Ω -Widerstände R24 und R25 begrenzt.

4.6 FET und Transformator

Der FET schaltet den Transformator gegen Masse (GND), wenn eine Spannung von über 2 V am Gate des FET liegt. Ist das der Fall, fließt Strom durch die Primär-Spule. Dies wiederum induziert eine Spannung an der Sekundärseite des Transformators. Diese Spannung beträgt ungefähr 15.000 V und hat die Form des PWMs. Nachfolgend wird sie auf zwei Elektroden geführt, die sich mit einem Abstand von 1 cm gegenüberstehen. Die hohe Spannung führt zu einem Durchschlag durch die Luft. Dieser entstehende Funken erwärmt die Luft. Da der PWM die durchschnittliche Einschaltdauer regelt, kann er bestimmen, wie stark sich die Luft ausdehnt und damit Schall erzeugen.

Die Diode D5 (siehe [Abb. 16](#)) ist als Freilaufdiode verschaltet und schützt den FET vor Überspannungen beim Ausschalten des Transformators.

4.7 Mikrocontroller

Der Mikrocontroller steuert die LEDs an, gibt die Musikwiedergabe frei und liest Taster zur Steuerung des Lautsprechers ein. Der verwendete Controller ist ein PIC18F2520 der Marke Microchip und kann über die Programmierschnittstelle SV6 programmiert werden.

Die beiden Taster für die Farbwahl der RGB-LEDs sowie für das Starten des Plasmas werden auf die Eingänge des Mikrocontrollers geführt (siehe [Abb. 17](#)).

Über die Ausgänge steuert der Mikrocontroller zum einen drei FETs für die RGB-LEDs (rot/grün/blau) an. Zum andern aktiviert oder deaktiviert er das Plasma (siehe [Abb. 17](#)).

Die Eingänge RA0 und RA1 sowie die Ausgänge RA3 und RA4 wurden für die Servos gebraucht, welche jedoch bei der aktuellen Version keine Verwendung mehr gefunden haben.

Der Mikrocontroller PIC18F2520 stellt nur 2 PWM-Module zur Verfügung. Für die komfortable Ansteuerung aller Farbkanäle der LEDs wären aber mindestens 3 notwendig.

4.8 Beleuchtung

Das Gehäuse wird über RGB-LED-Strips beleuchtet. Die LEDs bestehen intern aus einer roten, einer grünen und einer blauen Leuchtdiode. Jede Farbe wird separat angesteuert.

Der Schaltplan (siehe Abb. 18) zeigt exemplarisch die Beschaltung der roten LED. Die Anoden der LEDs sind an +12 V angeschlossen. Die Kathoden werden über einen Widerstand am FET (hier Q1) angeschlossen. Bei einem High-Puls vom Mikrocontroller (+5 V) leitet der FET. Die LED ist dann mit GND verbunden und leuchtet. Bei einem Low-Puls (0 V) sperrt der FET. Die LED ist somit von GND getrennt und es fließt kein Strom mehr, weshalb sie erlischt. Damit der Strom durch die LED

nicht zu groß wird, sind Begrenzungswiderstände im RGB-Strip eingebaut.

4.9 Farbsteuerung durch PWM

Das Signal, welches auf die LEDs gegeben wird, ist ein PWM-Signal. Die Gesamtdauer T der Periode ist konstant. Das Verhältnis vom eingeschalteten Zustand (t_i) und vom ausgeschalteten Zustand (t_a) variiert jedoch (siehe Abb. 19).

Wie ebenfalls in Abb. 19 zu erkennen ist, werden die LEDs durch das PWM-Signal immer wieder an- und ausgeschaltet. Sie blinken also. Das menschliche Auge nimmt jedoch nur beschränkt viele Bilder pro Sekunde wahr und ist deswegen nur imstande, ein langsames Blinken als ein solches zu erkennen. Blinken die LEDs nun mit einer genügend hohen Frequenz, so bildet das Gehirn einen Mittelwert der Helligkeit.

$$Helligkeit = \frac{t_i}{t_i + t_a} * 100 \% = \frac{t_i}{T} * 100 \%$$

Formel (6)

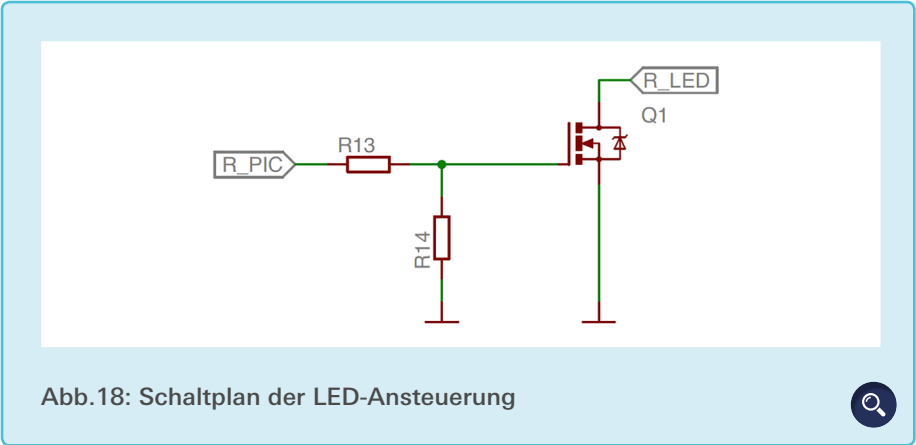


Abb.18: Schaltplan der LED-Ansteuerung

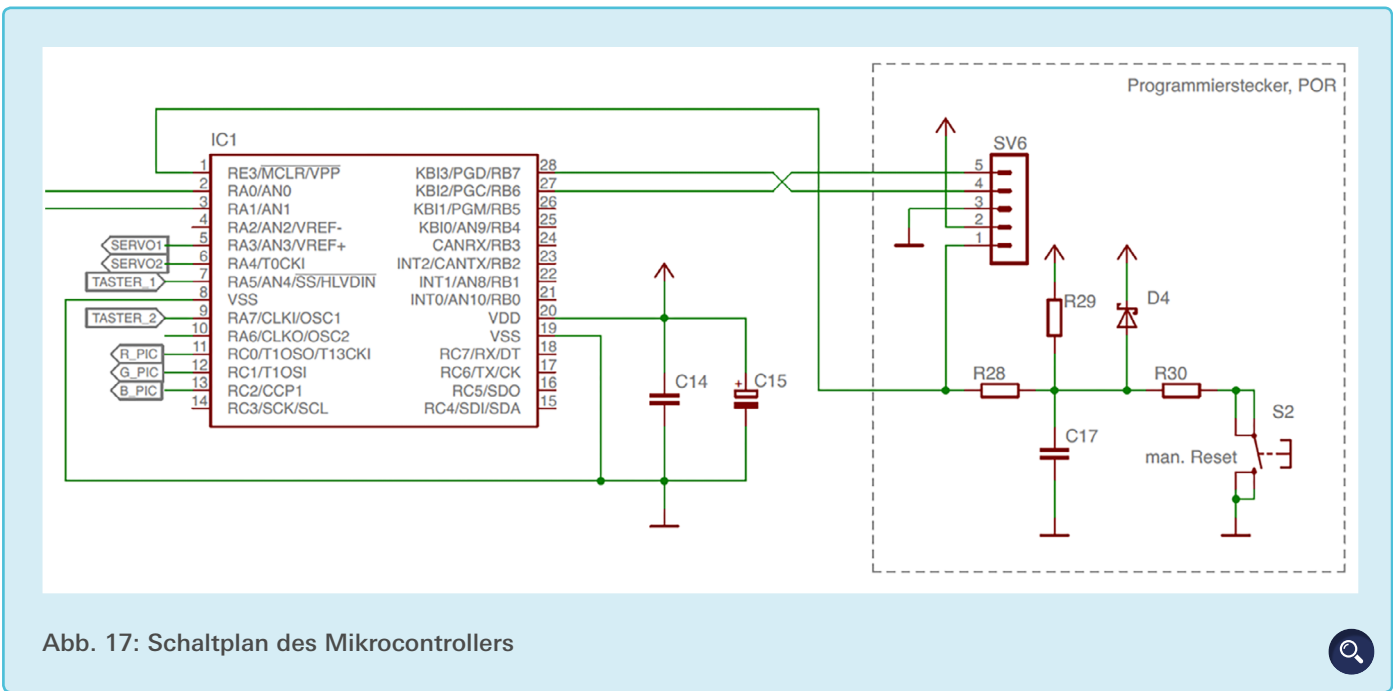


Abb. 17: Schaltplan des Mikrocontrollers

Wenn also beispielsweise eine LED nur während der Hälfte der Periodendauer (T) eingeschaltet ist, dann nimmt der Mensch die Lichtintensität als halb so stark wahr. Je größer die Pulsdauer (t_i) ist, desto heller wirkt die LED.

Siehe [Formel \(6\)](#)

Um verschiedene Farben zu erzeugen, werden drei LEDs mit den Farben rot, grün und blau benötigt. Können nun

alle mittels eines PWMs gedimmt werden, so kann anhand der jeweiligen Farbintensität gezielt eine Farbe gemischt werden.

Der Programmcode des Plasma Speakers erlaubt es, jede LED (rot, grün, blau) mit einer Helligkeitsstufe von 0 bis 99 anzusteuern. Insgesamt können dadurch eine Million verschiedene Farben erzeugt werden.

5. Inbetriebnahme und Eigenschaften

5.1 Elektrodenabstand

Der Abstand zwischen den beiden Elektroden entscheidet über die erreichbare Tonqualität. Ist der Abstand zu groß, reißt der Funke – das Plasma – immer wieder ab, muss neu gezündet werden und verursacht ein lautes Surren. Mit kleiner werdendem Abstand nimmt die Lautstärke ab. Es muss also eine Position gefunden werden, in der die Elektroden möglichst weit voneinander entfernt sind, das Plasma aber nicht abreißt.

Während des Aufbaus des Plasma Speakers wurde der ideale Elektrodenabstand experimentell ermittelt. Dieser hängt von der Ausgangsspannung des verwendeten Hochspannungstransformators ab und muss für jeden Typ neu ermittelt werden.

Da der Abstand zum Zünden des Plasmas genügend klein gewählt werden muss, war ursprünglich eine dynamische Verstellung der Elektroden ge-

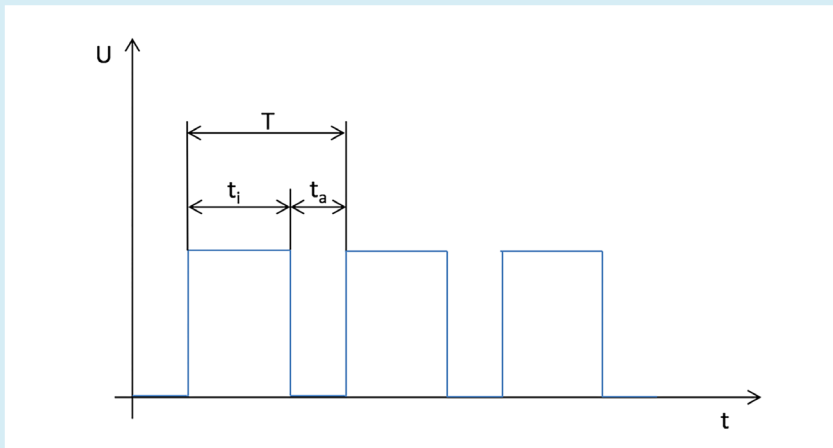


Abb. 19: Visualisierung des PWM-Signals für die Helligkeitsregelung

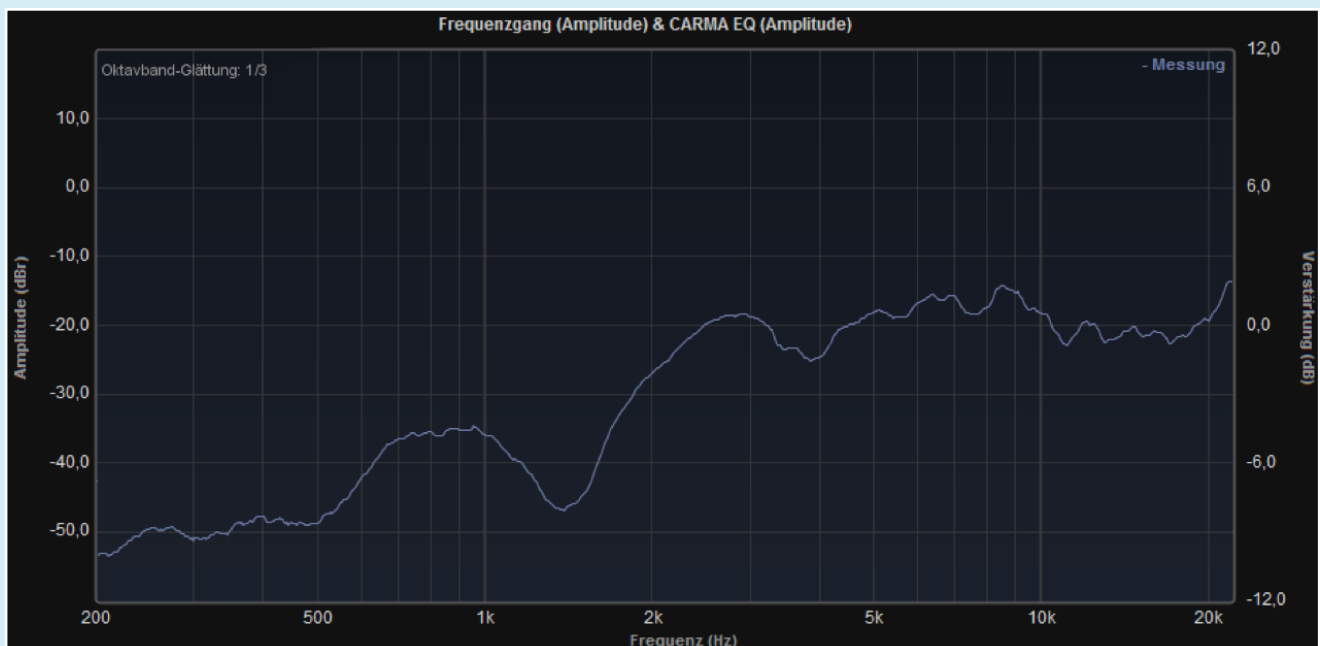


Abb. 20: Frequenzgang des Plasma Speakers



plant. Weil aber der ideale Elektrodenabstand beim Plasma Speaker bereits zum Zünden ausreicht, wurde auf diese Funktion verzichtet.

5.2 Frequenzgang

Um herauszufinden, wie sich der Plasma Speaker über den gesamten Frequenzbereich verhält, wurden Messungen mit einem Spectrum-Analyzer durchgeführt. Die Messresultate sind in [Abb. 20](#) dargestellt.

Der Messaufbau bestand aus einem Computer, der den Plasma-Lautsprecher ansteuerte, einem speziell für Frequenzgangmessungen geeigneten Mikrofon und dem Plasma Speaker. Es wurde ein Frequenz-Sweep (ein Sinus mit konstanter Amplitude, dessen Frequenz einen bestimmten Bereich durchläuft) abgespielt und dieser gleichzeitig mit dem Mikrofon gemessen.

Das Mikrofon wurde einen Meter vom Plasma Speaker entfernt aufgestellt. Die für die Messung verwendete Software heisst AUDIONET CARMA. Die Software wird vor allem im professionellen Bereich zur Frequenzgangmessung von Räumen und HiFi-Anlagen eingesetzt.

Aus der Messung des Plasma Speakers können folgende Eigenschaften gelesen werden: Bei Frequenzen kleiner als etwa 1,5 kHz gibt das Plasma fast keinen Schall ab. Dies liegt zum einen an der Tatsache, dass ein Plasma-Lautsprecher nicht für tiefe Frequenzen geeignet ist, auf der anderen Seite filtert der Eingangsfiler Frequenzen kleiner 2 kHz heraus. Den größten Anteil der gemessenen Lautstärke im niedrigen Frequenzbereich machen die Lüftung des Plasma Speakers sowie das Grundrauschen der gesamten Messung aus.

Oberhalb 1,5 kHz steigt die Lautstärke langsam mit steigender Frequenz an. Der Plasma Speaker gibt die Töne des Audiosignals bis etwa 20 kHz wieder. Die Kennlinie ist nicht ganz konstant. Im Bereich um 3 kHz und zwischen

10 kHz und 20 kHz ist der Pegel etwas tiefer. Insgesamt betragen die Schwankungen ungefähr ± 5 dB.

6. Diskussion und Verbesserungspotential

Mit dem aktuellen Stand des Plasma Speakers ist es möglich, Musik wiederzugeben. Die Tonqualität entspricht etwa der eines Handylautsprechers. Der Aufbau gewährleistet einen guten Berührungsschutz vor der Hochspannung. Das Acrylglas-Gehäuse trägt zwar nicht zur Funktionsweise bei, ist aber aufgrund der eingebauten RGB-LEDs und der erzeugten Lichteffekte ein Hingucker.

Wegen des verwendeten Hochspannungstransformators musste die Wiedergabezeit softwaretechnisch auf zehn Sekunden begrenzt werden. Die automatische Abschaltung des Plasmas ist nötig, um den Hochspannungstransformator vor Überhitzung zu schützen. Denn dieser ist nicht für den jetzigen Einsatz ausgelegt. Da der Fokus bei der Entwicklung des Plasma-Lautsprechers in einem ersten Schritt vor allem in der Entwicklung der Steuerplatine lag, wurde ein vorgefertigter Transformator eingesetzt. Dieser stammt aus einem Röhrenfernseher und ist deswegen nicht für die Ströme im Lautsprecher ausgelegt. Falls wir eine zweite Version des Lautsprechers bauen, würden wir selbst einen für diese Anwendung optimierten Transformer entwickeln.

Weiter kann die verbaute Elektronik in der Steuerplatine miniaturisiert werden. Einzelne Baugruppen könnten durch besser integrierte Bausteine ersetzt werden.

Bei dem aktuellen Prototypen wurde vor allem Wert auf die Berührungssicherheit gelegt. Die erhöhte Sicherheit geht aber mit einer Einschränkung der eigentlichen Vorteile einer idealen Schallquelle einher. Der Lautsprecher ist nicht mehr in der Lage, den Schall in alle Richtungen abzustrahlen. In einer zweiten Version könnte ein Gehäu-

se entwickelt werden, das den Ansprüchen eines idealen Lautsprechers besser gerecht wird.

Eventuell könnte auch ein Katalysator – zum Beispiel ein Aktivkohlefilter – eingebaut werden, welcher den Nutzer vor dem entstehenden Ozon schützt.

Literaturverzeichnis

- [1] „Lansche Audio,“ [Online]. URL: <https://www.lansche-audio.com/produkte/plasmahochtöner/> (Letzter Zugriff: 21.02.2016)
- [2] „Wikipedia Lautsprecher,“ [Online]. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Lautsprecher#Membran> (Letzter Zugriff: 21.02.2016)
- [3] „Plasma tweeter,“ [Online]. URL: <http://www.plasmatweeter.de/magnat.htm> (Letzter Zugriff: 21.02.2016)
- [4] „Acapella,“ [Online]. URL: <http://www.acapella.de/de/> (Letzter Zugriff: 21.02.2016)
- [5] „Madgyver,“ [Online]. URL: <http://madgyver.de/de/plasma-generator/> (Letzter Zugriff: 26.02.2016)
- [6] „Wikipedia Aggregatzustand,“ [Online]. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Aggregatzustand> (Letzter Zugriff: 15.06.2016)
- [7] „Uni München,“ [Online]. URL: <http://www.usm.uni-muenchen.de/people/lesch/deumas.html> (Letzter Zugriff: 15.06.2016)
- [8] „Apotheken-Umschau Ozon,“ [Online]. URL: <http://www.apotheken-umschau.de/Umwelt/Wie-Ozon-der-Gesundheit-scha-det-228999.html> (Letzter Zugriff: 26.02.2016)

Publiziere auch Du hier!

FORSCHUNGSARBEITEN VON
SCHÜLER/INNE/N UND STUDENT/INN/EN

In der Jungen Wissenschaft werden Forschungsarbeiten von SchülerInnen, die selbstständig, z. B. in einer Schule oder einem Schülerforschungszentrum, durchgeführt wurden, veröffentlicht. Die Arbeiten können auf Deutsch oder Englisch geschrieben sein.

Wer kann einreichen?

SchülerInnen, AbiturientInnen und Studierende ohne Abschluss, die nicht älter als 23 Jahre sind.

Was musst Du beim Einreichen beachten?

Lies die [Richtlinien für Beiträge](#). Sie enthalten Hinweise, wie Deine Arbeit aufgebaut sein soll, wie lang sie sein darf, wie die Bilder einzureichen sind und welche weiteren Informationen wir benötigen. Solltest Du Fragen haben, dann wende Dich gern schon vor dem Einreichen an die Chefredakteurin Sabine Walter.

Lade die [Erstveröffentlichungserklärung](#) herunter, drucke und fülle sie aus und unterschreibe sie.

Dann sende Deine Arbeit und die Erstveröffentlichungserklärung per Post an:

Chefredaktion Junge Wissenschaft

Dr.-Ing. Sabine Walter
Paul-Ducros-Straße 7
30952 Ronnenberg
Tel: 05109 / 561508
Mail: sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de

Wie geht es nach dem Einreichen weiter?

Die Chefredakteurin sucht einen geeigneten Fachgutachter, der die inhaltliche Richtigkeit der eingereichten Arbeit überprüft und eine Empfehlung ausspricht, ob sie veröffentlicht werden kann (Peer-Review-Verfahren). Das Gutachten wird den Euch, den AutorInnen zugeschickt und Du erhältst gegebenenfalls die Möglichkeit, Hinweise des Fachgutachters einzuarbeiten.

Die Erfahrung zeigt, dass Arbeiten, die z. B. im Rahmen eines Wettbewerbs wie **Jugend forscht** die Endrunde erreicht haben, die besten Chancen haben, dieses Peer-Review-Verfahren zu bestehen.

Schließlich kommt die Arbeit in die Redaktion, wird für das Layout vorbereitet und als Open-Access-Beitrag veröffentlicht.

Was ist Dein Benefit?

Deine Forschungsarbeit ist nun in einer Gutachterzeitschrift (Peer-Review-Journal) veröffentlicht worden, d. h. Du kannst die Veröffentlichung in Deine wissenschaftliche Literaturliste aufnehmen. Deine Arbeit erhält als Open-Access-Veröffentlichung einen DOI (Data Object Identifier) und kann von entsprechenden Suchmaschinen (z. B. BASE) gefunden werden.

Die Junge Wissenschaft wird zusätzlich in wissenschaftlichen Datenbanken gelistet, d. h. Deine Arbeit kann von Experten gefunden und sogar zitiert werden. Die Junge Wissenschaft wird Dich durch den Gesamtprozess des Erstellens einer wissenschaftlichen Arbeit begleiten – als gute Vorbereitung auf das, was Du im Studium benötigst.



Richtlinien für Beiträge

FÜR DIE MEISTEN AUTOR/INN/EN IST DIES DIE ERSTE WISSENSCHAFTLICHE VERÖFFENTLICHUNG. DIE EINHALTUNG DER FOLGENDEN RICHTLINIEN HILFT ALLEN – DEN AUTOR/INNEN/EN UND DEM REDAKTIONSTEAM

Die Junge Wissenschaft veröffentlicht Originalbeiträge junger AutorInnen bis zum Alter von 23 Jahren.

- Die Beiträge können auf Deutsch oder Englisch verfasst sein und sollten nicht länger als 15 Seiten mit je 35 Zeilen sein. Hierbei sind Bilder, Grafiken und Tabellen mitgezählt. Anhänge werden nicht veröffentlicht. Deckblatt und Inhaltsverzeichnis zählen nicht mit.
- Formulieren Sie eine eingängige Überschrift, um bei der Leserschaft Interesse für Ihre Arbeit zu wecken, sowie eine wissenschaftliche Überschrift.
- Formulieren Sie eine kurze, leicht verständliche Zusammenfassung (maximal 400 Zeichen).
- Die Beiträge sollen in der üblichen Form gegliedert sein, d. h. Einleitung, Erläuterungen zur Durchführung der Arbeit sowie evtl. Überwindung von Schwierigkeiten, Ergebnisse, Schlussfolgerungen, Diskussion, Liste der zitierten Literatur. In der Einleitung sollte die Idee zu der Arbeit beschrieben und die Aufgabenstellung definiert werden. Außerdem sollte sie eine kurze Darstellung schon bekannter, ähnlicher Lösungsversuche enthalten (Stand der Literatur). Am Schluss des Beitrages kann ein Dank an Förderer der Arbeit, z. B. Lehrer und Sponsoren, mit vollständigem Namen angefügt werden. Für die Leser kann ein Glossar mit den wichtigsten Fachausdrücken hilfreich sein.
- Bitte reichen Sie alle Bilder, Grafiken und Tabellen nummeriert und zusätzlich als eigene Dateien ein. Bitte geben Sie bei nicht selbst erstellten Bildern, Tabellen, Zeichnungen, Grafiken etc. die genauen und korrekten Quellenangaben an (siehe auch [Erstveröffentlichungserklärung](#)). Senden Sie Ihre Bilder als Originaldateien oder mit einer Auflösung von mindestens 300 dpi bei einer Größe von 10 · 15 cm! Bei Grafiken, die mit Excel erstellt wurden, reichen Sie bitte ebenfalls die Originaldatei mit ein.
- Vermeiden Sie aufwendige und lange Zahlentabellen.
- Formelzeichen nach DIN, ggf. IUPAC oder IUPAP verwenden. Gleichungen sind stets als Größengleichungen zu schreiben.
- Die Literaturliste steht am Ende der Arbeit. Alle Stellen erhalten eine Nummer und werden in eckigen Klammern zitiert (Beispiel: Wie in [12] dargestellt ...). Fußnoten sieht das Layout nicht vor.
- Reichen Sie Ihren Beitrag sowohl in ausgedruckter Form als auch als PDF

ein. Für die weitere Bearbeitung und die Umsetzung in das Layout der Jungen Wissenschaft ist ein Word-Dokument mit möglichst wenig Formatierung erforderlich. (Sollte dies Schwierigkeiten bereiten, setzen Sie sich bitte mit uns in Verbindung, damit wir gemeinsam eine Lösung finden können.)

- Senden Sie mit dem Beitrag die [Erstveröffentlichungserklärung](#) ein. Diese beinhaltet im Wesentlichen, dass der Beitrag von dem/der angegebenen AutorIn stammt, keine Rechte Dritter verletzt werden und noch nicht an anderer Stelle veröffentlicht wurde (außer im Zusammenhang mit **Jugend forscht** oder einem vergleichbaren Wettbewerb). Ebenfalls ist zu versichern, dass alle von Ihnen verwendeten Bilder, Tabellen, Zeichnungen, Grafiken etc. von Ihnen veröffentlicht werden dürfen, also keine Rechte Dritter durch die Verwendung und Veröffentlichung verletzt werden. Entsprechendes [Formular](#) ist von der Homepage www.junge-wissenschaft.ptb.de herunterzuladen, auszudrucken, auszufüllen und dem gedruckten Beitrag unterschrieben beizulegen.
- Schließlich sind die genauen Anschriften der AutorInnen mit Telefonnummer und E-Mail-Adresse sowie Geburtsdaten und Fotografien (Auflösung 300 dpi bei einer Bildgröße von mindestens 10 · 15 cm) erforderlich.
- Neulingen im Publizieren werden als Vorbilder andere Publikationen, z. B. hier in der Jungen Wissenschaft, empfohlen.

Impressum

[JUNGE]
wissenschaft



Junge Wissenschaft

c/o Physikalisch-Technische
Bundesanstalt (PTB)
www.junge-wissenschaft.ptb.de

Redaktion

Dr. Sabine Walter, Chefredaktion
Junge Wissenschaft
Paul-Ducros-Str. 7
30952 Ronnenberg
E-Mail: sabine.walter@verlag-jungewissenschaft.de
Tel.: 05109 / 561 508

Verlag

Dr. Dr. Jens Simon,
Pressesprecher der PTB
Bundesallee 100
38116 Braunschweig
E-Mail: jens.simon@ptb.de
Tel.: 0531 / 592 3006
(Sekretariat der PTB-Pressestelle)

Design & Satz

Sabine Siems
Agentur „provieler werbung“
E-Mail: info@provieler-werbung.de
Tel.: 05307 / 939 3350

