

DIY-Quantenexperimente

Ultraschallelevation



Ultraschall-Levitation

von stehenden Wellen bis zu Quantencomputer

Stephan Dasbach, Michael Bennemann (2026, v0.1)

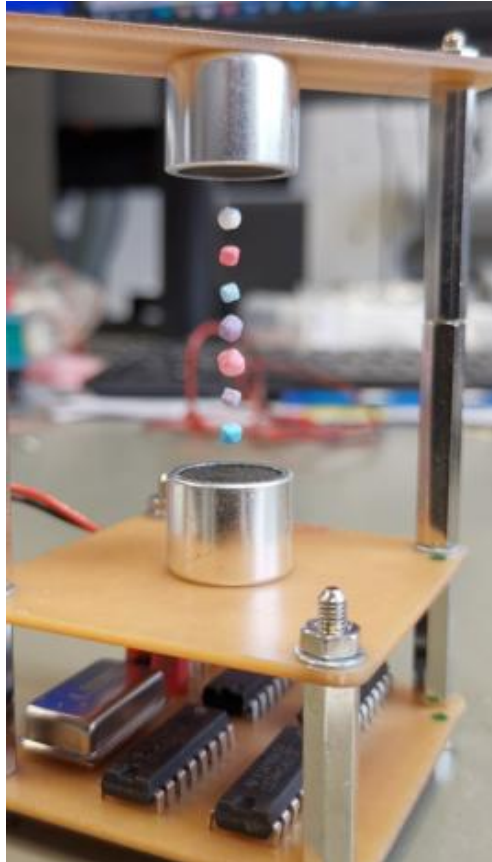


Abbildung 1: Ultraschalllevitations-Bausatz.
Zwischen zwei Ultraschalllautsprechern schweben sieben Styroporkügelchen.

Vorwort

Faszination ist es, die uns oft motiviert, uns mit neuen Dingen zu beschäftigen. Daher haben wir einen Bausatz entwickelt, der sowohl für den Bau von Elektronik als auch Physik begeistern kann. Gerade Schülerinnen und Schüler, aber auch Menschen jeden Alters, sind fasziniert von den in der Luft schwebenden Kügelchen. Diese werden durch stehende Wellen, erzeugt von zwei Ultraschalllautsprechern, an Ort und Stelle festgehalten.

Mit unserem Ultraschalllevitation-Bausatz kann die Physik von stehenden Wellen veranschaulicht werden. Des Weiteren kann er genutzt werden, um die Funktionsweise von Ionenfallen anschaulich zu machen. Ionenfallen werden unter anderem in manchen Quantencomputern verwendet.

Was macht die Elektronik?

Unser Bausatz besteht aus drei Platinen: einer Grundplatine und zwei Platinen mit Ultraschalllautsprechern.

Die Grundplatine ist recht einfach aufgebaut: Das basale Bauelement ist ein Quarzoszillator (im Abb.1 links unten zu sehen). Dieser gibt ein elektrisches Signal, das mit 4 MHz (4 Millionen Schwingungen pro Sekunde) zwischen hoher Spannung und niedriger Spannung schwingt.

Danach kommen zwei ICs (integrierte Schaltungen, die schwarzen Bauelemente mit den vielen Beinchen). Diese teilen die Frequenz des Signals durch jeweils 10. Somit haben wir danach ein Signal mit 40 kHz, also 40.000 Schwingungen pro Sekunde.

Ein weiteres IC invertiert dieses Signal (dreht also die Schwingungsrichtung um). Das letzte IC verstärkt das Signal, sodass die Ultraschall-Lautsprecher (die silbernen Kapseln oben und unten in Abb. 1) diesen Ton mit hoher Lautstärke abgeben können.

Warum schweben die Kügelchen?

Die beiden Lautsprecher geben einen Ton von 40.000 Hz ab, also im Ultraschallbereich. Die Geschwindigkeit, mit der sich Schall ausbreitet, ist ungefähr 330 m pro Sekunde. Dadurch, dass sich die Lautsprechermembranen vor- und zurückbewegen, wird Luft komprimiert und kurz danach dekomprimiert. Diese Luftdruckschwankung breitet sich mit Schallgeschwindigkeit aus.

Beispielsweise hat sich der Schall nach einer Sekunde um 330 m bewegt. Auf dieser Strecke haben wir bei unserem Ton 40.000 Luftdruckschwankungen. Dadurch ergibt sich eine Wellenlänge von 8,25 mm für einen kompletten Zyklus einer Luftdruckschwankung (330 m geteilt durch 40.000). Eine Welle hat zwei Knotenpunkte, hier jeweils im Abstand von 4,125 mm.

Wenn nun der Abstand zwischen den Lautsprechern ein Vielfaches dieses Abstandes ist, dann ergeben sich durch die Überlagerung sogenannte stehende Wellen, sodass es konstant im Abstand von 4,125 mm Wellenknoten und Wellenberge gibt. Daher ist dies auch der Abstand, in dem sich die Kügelchen platzieren lassen. Die Styroporkügelchen schweben in den Knoten der stehenden Wellen, also dort, wo die Druckschwankungen am kleinsten sind (Abb. 2).

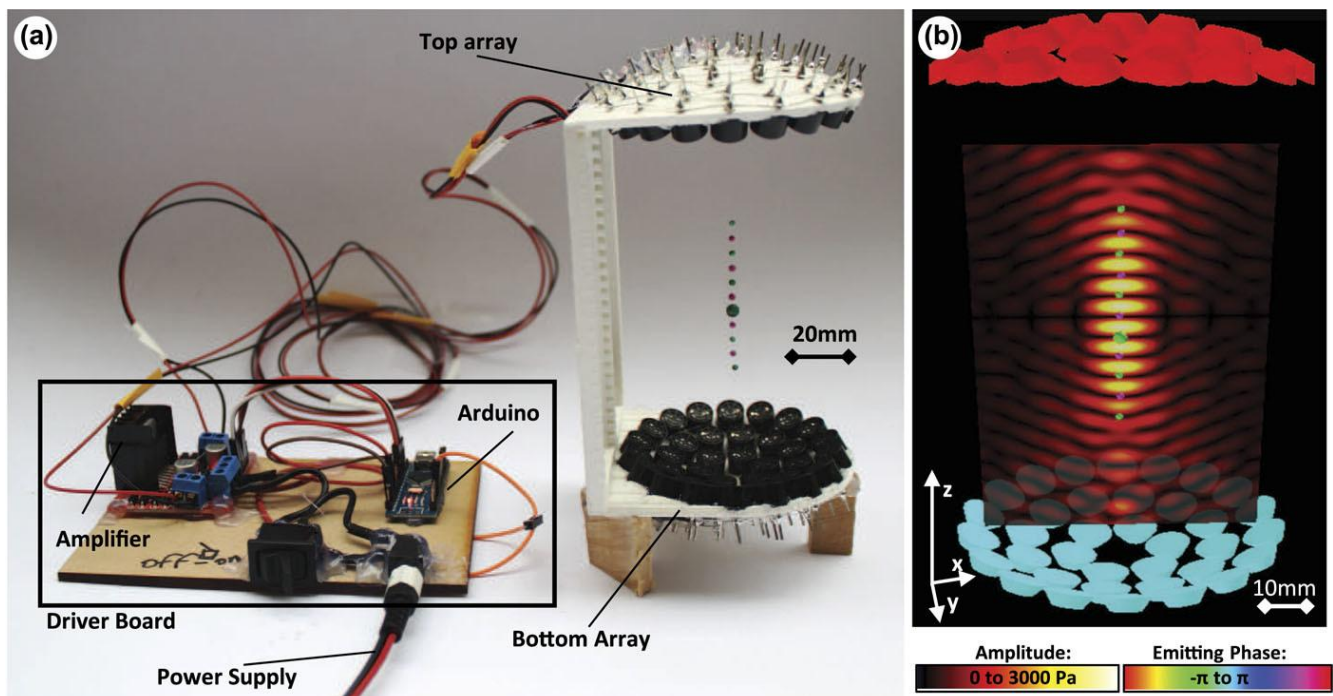


Abbildung 2: Ein TinyLev-Akustiklevitator mit vielen Ultraschalllautsprechern pro Seite einschließlich der Elektronik und einem Diagramm des Spitzendruckfeldes. Dem Diagramm (b) kann man entnehmen, dass die Styroporkügelchen in den Knoten der stehenden Wellen schweben. Asier Marzo, Adrian Barnes and Bruce W. Drinkwater, CC BY 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>>, via Wikimedia Commons.

Sicherheitshinweise zum Löten und Betrieb

Wir haben den Bausatz mit großer Sorgfalt geplant. Die Bedienungs-/Lötanleitung gibt Ihnen die genaue Vorgehensweise an. Bitte denken Sie daran, dass die Bauteile verschluckbar sind und daher nicht in die Hände von Kleinkindern kommen sollten.

Verwenden Sie bleifreies Lötzinn und vermeiden Sie das Einatmen von Lötdämpfen durch die Nutzung einer geeigneten Absaugung.

Seien Sie mit dem Lötwerkzeug sehr vorsichtig, um Verbrennungen zu vermeiden.

Da Fehler beim Aufbau nicht ausgeschlossen werden können – betreiben Sie das Gerät nicht ohne Aufsicht. Sie benötigen ein externes Netzteil. Bitte benutzen Sie ein solches, auch wenn z. B. ein Notebook als Stromquelle theoretisch geeignet wäre.

Die Lautstärke der Ultraschalllautsprecher ist sehr hoch. Obwohl wir Ultraschall nicht hören können, kann unser Gehör dennoch durch Ultraschall geschädigt werden. Halten Sie im Betrieb einen Mindestabstand von einer Armlänge zum Ultraschalllevitationsbausatz ein!

Jede Haftung durch uns ist bei diesem Lernbausatz, den Sie selbst aufbauen, ausgeschlossen.

Bedienungsanleitung / Lötanleitung

1. Verwenden Sie zum Löten einen LötKolben mit kleiner Lötspitze und nutzen Sie nur bleifreies Lötzinn. Erhitzen Sie mit der Lötspitze kurz die Lötstelle und den Anschlussdraht des Bauteils führen Sie dann das Lötzinn hinzu.
2. Löten Sie die flachen, niedrigen Bauteile zuerst ein, danach die höheren – also von klein nach groß. Bitte vergessen Sie nicht, die Drahtbrücke mit dem beiliegenden Draht unterhalb von C2 einzulöten.
3. Bei dem Quarzoszillator, den ICs, der Leuchtdiode, dem Spannungsregler und der Stromversorgungsbuchse ist auf die korrekte Polung zu achten (Abb. 3).

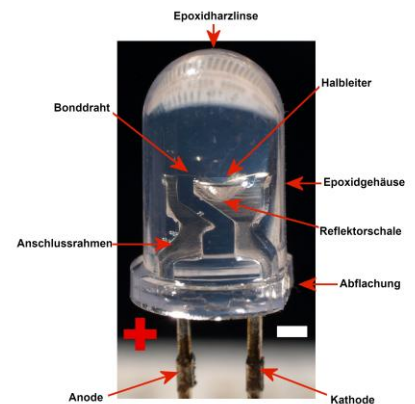
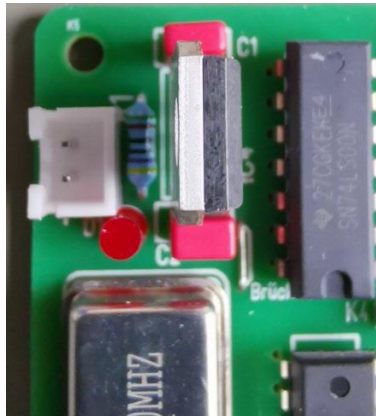


Abbildung 3: Grundplatine (links) mit Quarzoszillator und ICs; Spannungsregler und Stromversorgungsbuchse im Detail (Mitte) und Aufbau LED (rechts, verändert nach: derivative work: Pschemp (talk)Uvled_highres_macro.jpg: Grapetonix, CC BY 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>>, via Wikimedia Commons).

4. Ordnen Sie bei den Ultraschallkapseln den Anschluss mit dem großen schwarzen Ring der mit + gekennzeichneten Ecke (Seite) der Platinen zu (Abb. 4).

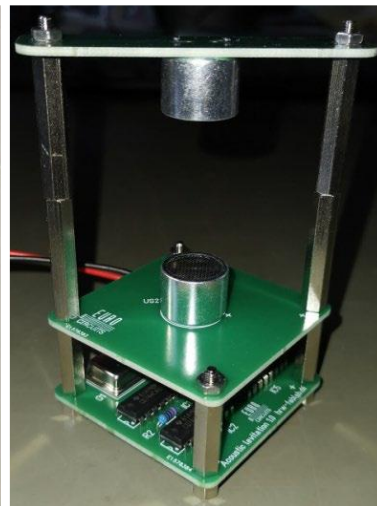


Abbildung 4: Ultraschalllautsprecher; der linke Pin mit dem großen schwarzen Ring ist der + Anschluss (links), fertiger Aufbau (rechts).

5. Schrauben Sie die fertig bestückten Platinen so zusammen, dass die mit + gekennzeichneten Stellen alle übereinander liegen. Die Gewindebolzen an der mit + gekennzeichneten Ecke und der diagonal gegenüberliegenden Ecke führen das Signal für die obere Kapsel.
6. Löten Sie das beigefügte Stromversorgungskabel an den Ausgang der USB-C-Platine an. Den roten Draht an + und den schwarzen Draht an -.
7. Schließen Sie das USB-C-Stromversorgungsmodul an den Aufbau an. Als Netzteil können Sie ein handelsübliches Smartphone-Ladegerät mit 5V nutzen. Das USB-C-Modul muss auf eine Spannung von 20 V eingestellt werden.
8. Mithilfe einer Pinzette können Sie nun sechs bis acht Styroporkügelchen nach und nach zwischen den beiden Kapseln in einem Abstand von ungefähr 4 mm positionieren und zum Schweben bringen.

Stückliste

Integrierte Schaltungen:

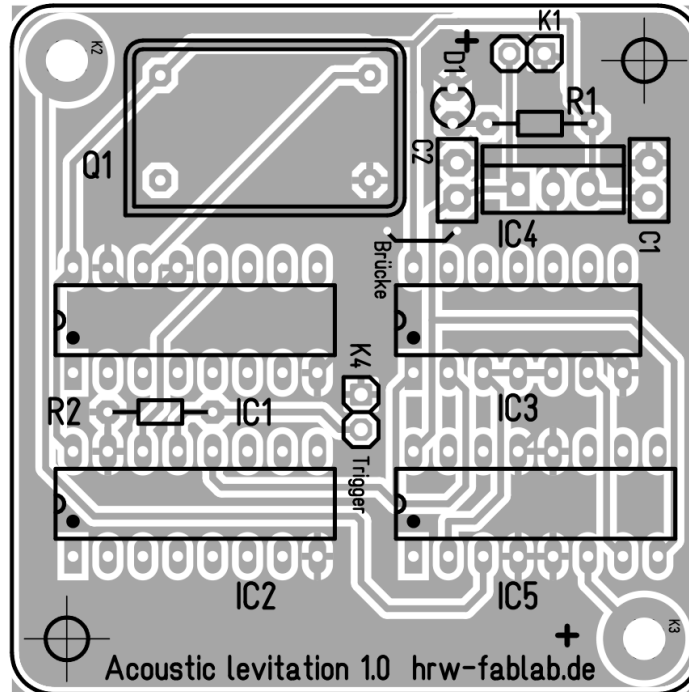
- 2x CD74HC4017E, 1x SN74LS00N, 1x L293D, 1x μ A7805
- 2x Ultraschallkapsel (40 kHz)
- 1x rote LED (Polung beachten)
- 1x Quarzoszillator 4 MHz
- 1x Kondensator 0,1 μ F, 1x Kondensator 0,01 μ F
- 1x Widerstand 470 Ohm (gelb-lila-schwarz-schwarz-braun)
- 1x Widerstand 10 kOhm (braun-schwarz-schwarz-rot-braun)
- 1x Spannungsversorgungs-Anschlussbuchse (weiß, Polung beachten)
- 1x 2-Pin-Stiftleiste (Trigger optional)
- 1x Brückendraht

Gewinde-Abstandsbolzen M3:

- 4x 5 mm, 4x 20 mm, 4x 30 mm
- 4x Muttern M3
- 3x Leiterplatten
- 1x USB-C-Stromversorgungsmodul
- 1x Anschlusskabel mit Stecker

Bestückungsplan

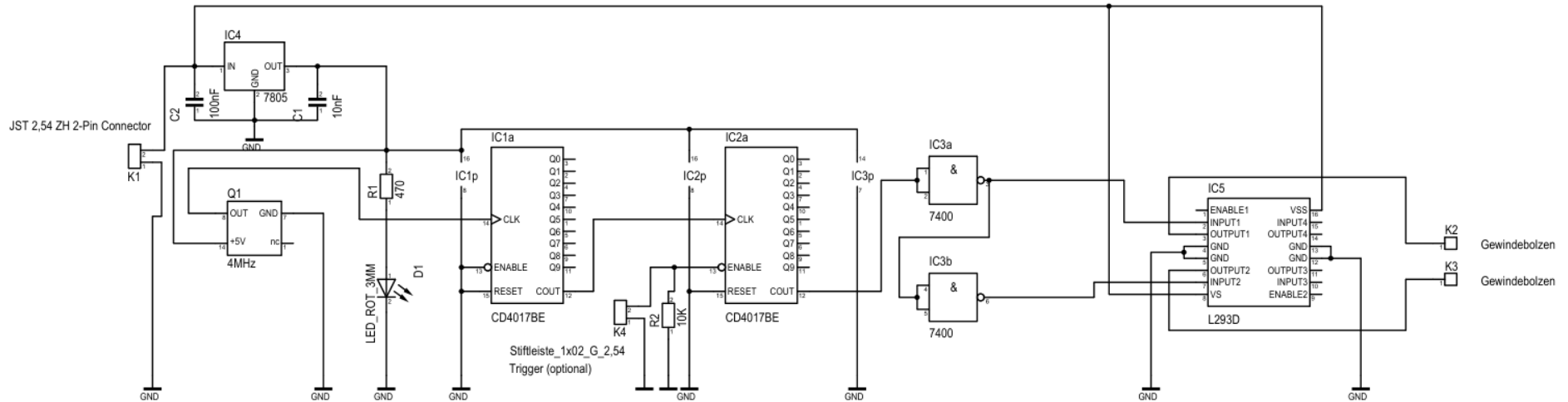
Layout/Bestückung der Platine (zur Orientierung):



Schaltplan

Schaltplan der Ultraschall-Levitation (inkl. Trigger-Option):

Acoustic levitation 1.0 hrw-fablab.de



Projektpartner



Gefördert durch:

