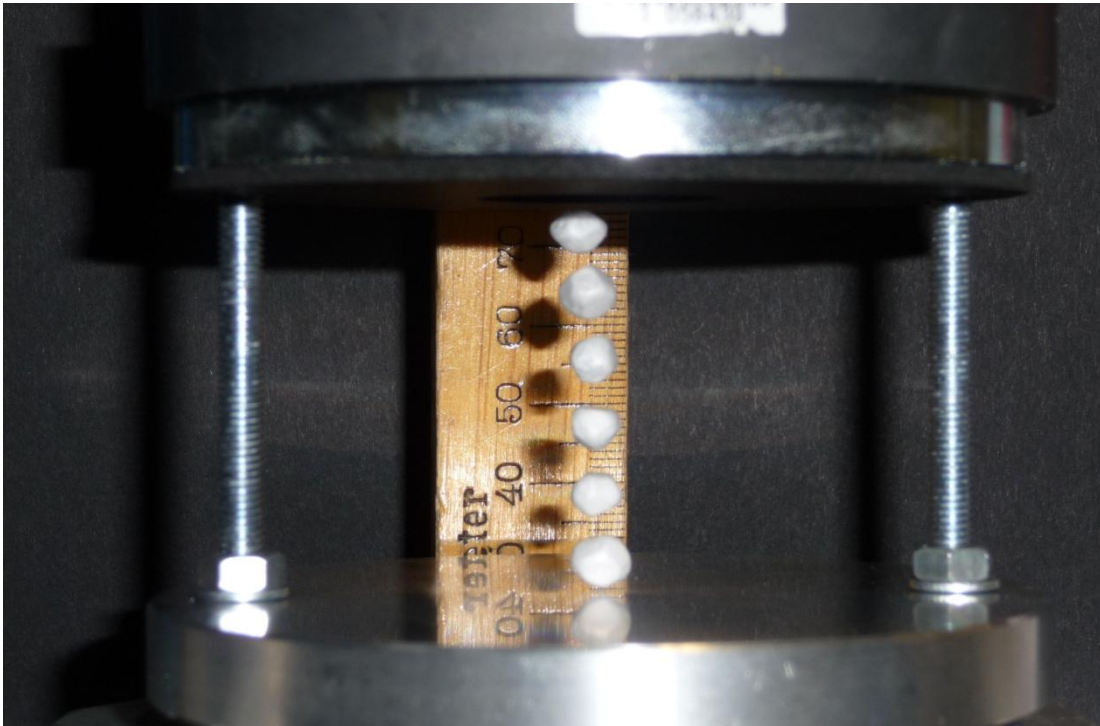


# Schweben ohne Tricks



Leon Heinen

Adrian Lenkeit

Matthias Schäfers

*St. Michael-Gymnasium  
Bad Münstereifel*

Jugend forscht 2014

---

# Inhaltsverzeichnis

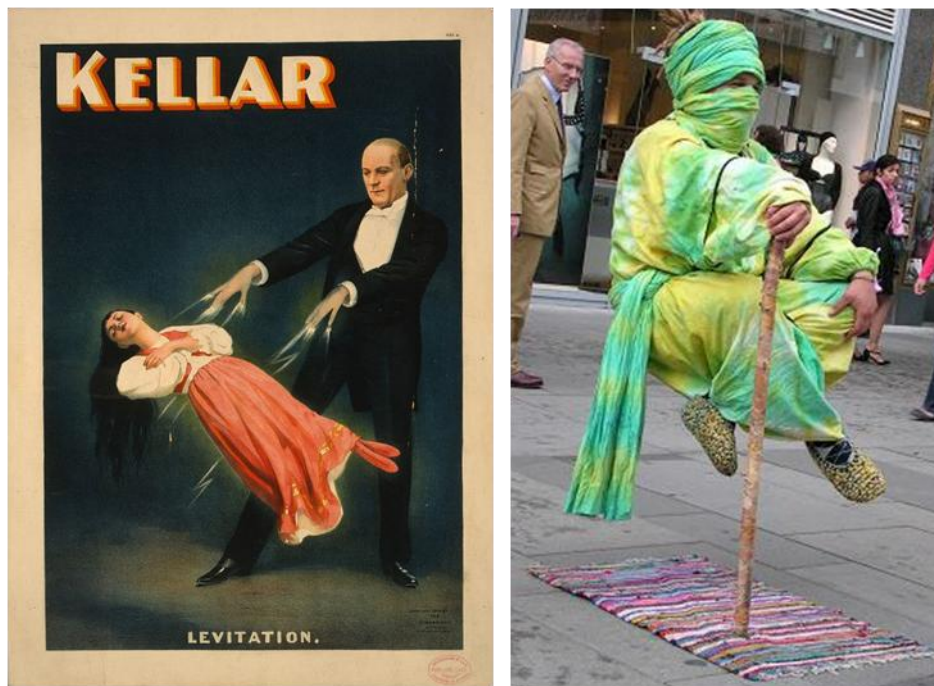
1. Kurzfassung
2. Einleitung
3. Magnetische Levitation
4. Erzeugung von Mikrostrukturen mittels des Leidenfrostschens Phänomens
5. Akustische Levitation
6. Ausblick
7. Danksagung
8. Link und Literaturliste

# 1. Kurzfassung

Bei unserem Projekt „Schweben ohne Tricks“ versuchen wir in levitierenden Tropfen Mikrostrukturen zu erzeugen. Erste Erfahrungen sammelten wir mittels magnetischer Levitation. Nach diesen Vorversuchen kamen wir zu der Erkenntnis, dass sich der Leidenfrost-Effekt besser zur Herstellung solcher Mikrostrukturen eignet. Mit ihm gelang es uns Zinkoxid-Mikrostrukturen herzustellen.

Um unser Herstellungsverfahren zu optimieren, bauten wir eine Apparatur, in der wir stehende Ultraschallwellen erzeugen konnten. In diesem Schallwellenfeld konnten wir Styroporkugeln schweben lassen. Bei Wassertropfen gelang uns dies aufgrund ihrer erheblich größeren Masse jedoch nicht. Wir hoffen jedoch mit geladenen Tröpfchen erfolgreich zu sein.

# 2. Einleitungen



*Abb. 2.1 Schweben, wenn auch mit Tricks, hat die Menschen schon immer fasziniert.*

Schweben, wenn auch mit Tricks, hat die Menschen schon zu allen Zeiten fasziniert (siehe Abb. 2.1). Naturwissenschaftliche und technisch interessierte Menschen fasziniert aber auch Schweben ohne Tricks. Insbesondere dann, wenn man damit etwas Sinnvolles anstellen kann. Zu Beginn unserer Forschungstätigkeit haben wir einen Neodym-Magneten schweben lassen. Dies war zwar lustig anzusehen, doch ein praktischer Nutzen erschloss sich uns nicht. Interessanter fanden wir schon die Fragestellung: „Wie bilden sich Kristalle, Mikro- und Nanostrukturen in levitierenden

Tropfen, wenn sie so dem Einfluss fester Oberflächen entzogen sind?“ Als wir uns auf den Weg machten diese Frage zu beantworten, wussten wir noch nicht welche technischen Hindernisse hier zu überwinden sind.

### 3. Elektromagnetische Levitation

Um uns mit der Levitation vertraut zu machen, beschlossen wir einen Neodymmagneten in einem Magnetfeld schweben zu lassen. Hierzu gibt es zahlreiche Anleitungen im Internet. So haben wir den folgenden Schaltplan (siehe Abb. 3.1) von der Seite [www.bisOuhr.de](http://www.bisOuhr.de) entnommen.

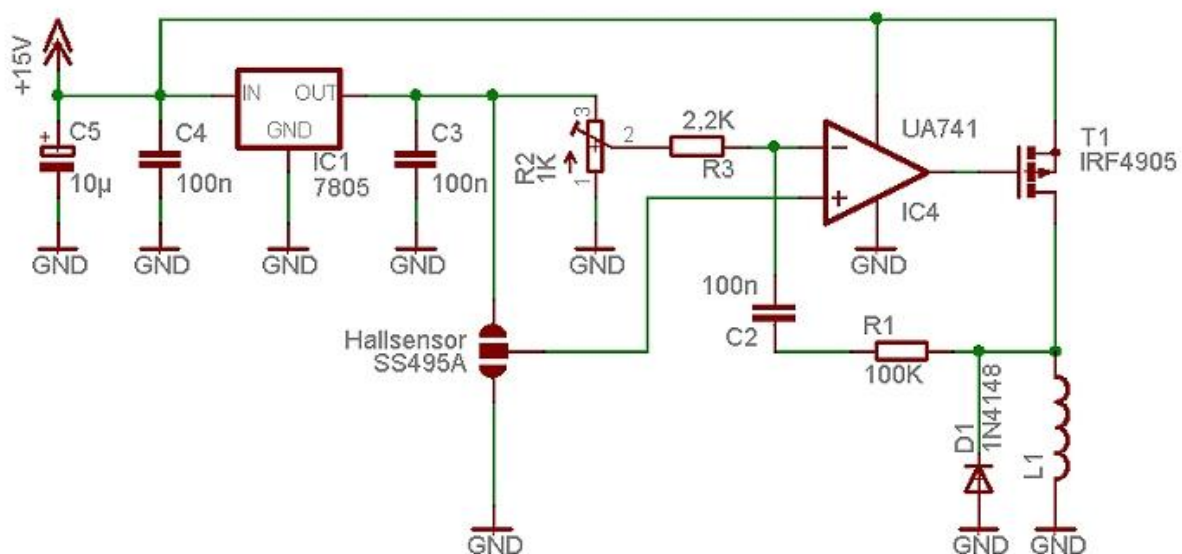


Abb. 3.1 Schaltplan Levitator

In dieser Schaltung misst ein Hallensensor die Stärke des Magnetfeldes welches von der Haltespule (L1) und dem schwebenden Neodymmagneten erzeugt wird. Sinkt der Magnet zu stark ab, verringert sich das vom Hallensensor registrierte Magnetfeld. Dies bewirkt, dass die Schaltung den Strom in der Spule vergrößert und der Magnet stärker angezogen wird. Kommt der Magnet der Spule zu nahe, wird der Strom durch die Spule verringert. So gelang es uns einen Magneten zum Schweben zu bringen (siehe Abb. 3.2).

Ziel unserer Arbeit ist es jedoch nicht Magneten, sondern Flüssigkeiten zum Schweben zu bringen.



Abb. 3.2 Schwebender Magnet

## 4. Erzeugung von Mikrostrukturen mittels des Leidenfrostschen Phänomens

Nachdem wir Magnete erfolgreich zum Schweben gebracht haben, stellten wir uns die Frage, ob wir auch Wassertropfen schweben lassen können. Eine intensive Internetrecherche zeigte uns, dass dies mittels Diamagnetismus möglich ist (siehe Abb. 4.1). Die hierzu notwendigen Magnetfelder sind jedoch in dieser Stärke (z.B.  $B > 16$  Tesla beim Froschversuch von Prof. Geim) nicht mit schulischen Mitteln zu erreichen. Aus diesem Grund mussten wir uns für ein neues Verfahren entscheiden um Tropfen levitieren zu können.



Abb. 4.1 Im Magnetfeld schwebender Frosch.

Am einfachsten gelinkt dies mittels des Leidenfrostschen Phänomens.

Hierbei wird eine Heizplatte auf eine Temperatur oberhalb des Siedepunktes der verwendeten Trägerflüssigkeit (z.B. Wasser) erhitzt. Obwohl die Temperatur deutlich höher als der Siedepunkt der Flüssigkeit ist, verdampft der Tropfen nicht sofort, da er auf einer Dampfschicht schwebt, welche einen isolierenden Effekt hat.

Zuerst legten wir Objektträger auf eine Heizplatte und versuchten darauf Wassertropfen zu levitieren. Allerdings zersprangen diese sobald sie mit dem Tropfen in Kontakt kamen. Also testeten wir anstatt des Objektträgers eine Kupferplatte, was allerdings auch nicht überzeugend funktionierte, da die Tropfen immer „abhauten“. Daraufhin versuchten wir die levitierenden Tropfen mit einer Unterlegscheibe „einzufangen“ (siehe Abb. 4.2). Eleganter und effektiver funktionierten die Versuche aber nach der Originalmethode von Johann Gottlob Leidenfrost. Er ließ die Tropfen auf einem rot glühenden Löffel levitieren. Dies funktionierte auch bei uns sehr gut, da der Tropfen der Mulde nicht entfliehen konnte (siehe Abb. 4.3). Wir erhitzen den Löffel mit Hilfe eines Bunsenbrenners und konnten dem levitierenden Wassertropfen mit einer Spritze unsere Chemikalien zuführen (siehe Abb. 4.4). Besonders gute Ergebnisse erhielten wir, als wir in einen Tropfen aus in Wasser gelöstem Hexamethylentetramin, eine Lösung aus Popanol und Zinkacetat spritzten.



Abb. 4.2 Levitierender Wassertropfen



Abb. 4.3 Wassertropfen auf erhitztem Löffel



Abb. 4.4 Kaliumpermanganat im Wassertropfen

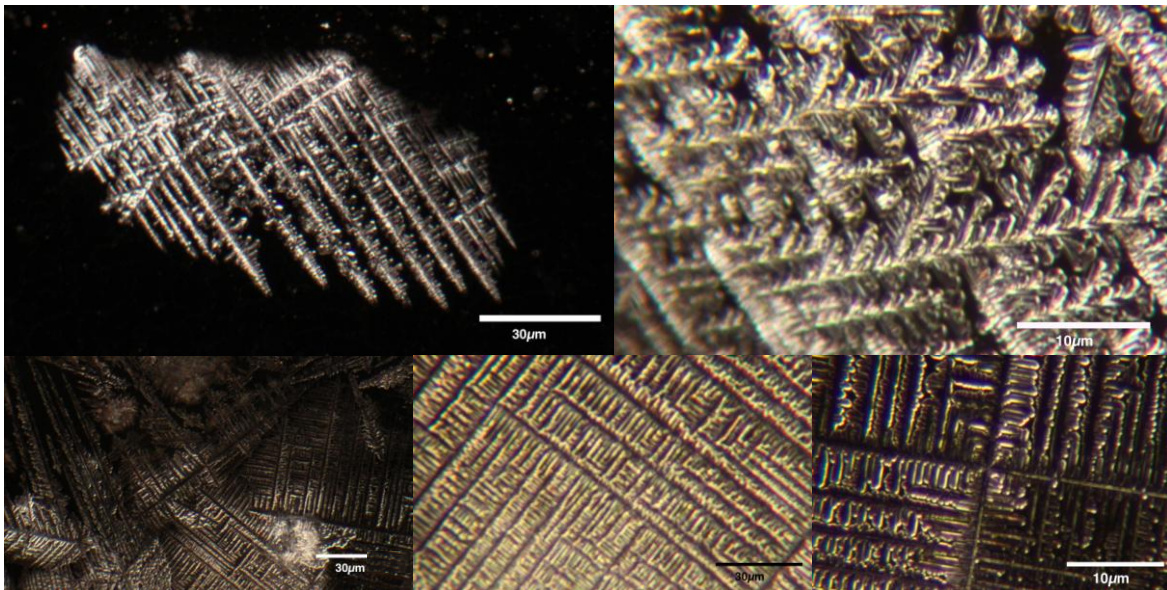


Abb. 4.5 Zinkoxid Mikrostrukturen

Wir ließen die Tropfen so lange im Löffel levitieren, bis sie ca. 1-2 mm Durchmesser besaßen. Anschließend übertrugen wir den Tropfen auf einen Objektträger und untersuchten ihn unter dem Dunkelfeldmikroskop. Wir waren sehr erfreut, als wir die ersten Mikrostrukturen erkennen konnten, welche sich in den levitierten Tropfen gebildet hatten. Als besonders interessant, stellten sich die für Zinkoxid typischen Kristallstrukturen heraus (siehe Abb. 4.5 unten). Somit hatten wir unser Ziel, Mikrostrukturen in levitierenden Tropfen zu erzeugen, erreicht. Jedoch blieb eine Frage unbeantwortet: Hat die Metalloberfläche des Löffels durch das Dampfpolster hindurch nicht doch einen Einfluss auf die Mikrostrukturbildung im levitierenden Tropfen?

## 5. Akustische Levitation

Da wir die in Kapitel 4 gestellte Frage nicht beantworten konnten, suchten wir nach einer noch besseren Methode Tropfen levitieren zu lassen. Wir entschieden uns für die Akustische Levitation, da diese uns bereits aus verschiedensten Dissertationen (z.B. die von Jork Leiterer Quelle [3]) bekannt war.

Zunächst schauten wir uns nach passender Hardware um. Wir brauchen insbesondere einen leistungsstarken Lautsprecher, der oberhalb des hörbaren Frequenzbereichs sehr gute Leistungswerte aufweist. Wir entschieden uns für einen „Kompressionstreiber“ der Marke BMS. Dieser Lautsprecher hat bauartbedingt eine vergleichsweise hohe Leistung von 60 W und einen dementsprechend hohen Schalldruck (132 dB), auch bei einer Frequenz von 20 kHz - 30 kHz. Dieser Lautsprecher benötigt nun einen passenden Verstärker. Spezielle Ultraschallverstärker sind jedoch sehr teuer. Audioverstärker sind grundsätzlich für Frequenzen unterhalb von 20 kHz ausgelegt und so nicht für unsere Anwendung zu gebrauchen. Also entschieden wir uns, einen eigenen Verstärker zu bauen.

Unser Verstärker besteht aus einem Hochspannungs- / Hochstrom-Operationsverstärker (OPA549). Diesen betreiben wir in der nichtinvertierten Konfiguration als Spannungsverstärker, mit Gain 10. Damit ist es uns möglich, eine entsprechend hohe Frequenz bei über 60 W zu erzeugen.

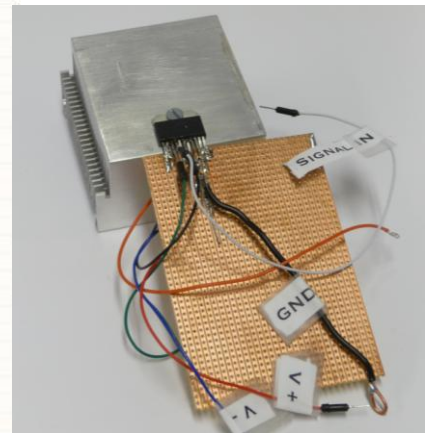
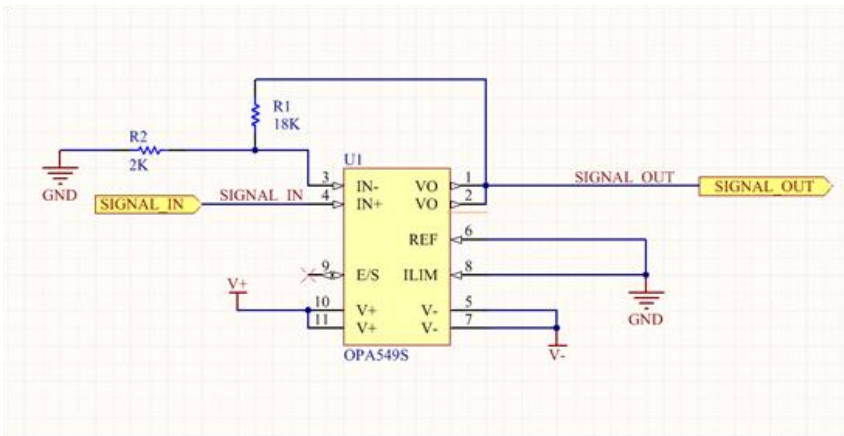


Abb. 5.1 Schaltplan und fertiger Verstärker

Um eine stehende Schallwelle zu erzeugen, befestigten wir den Lautsprecher mittels zweier Gewindestangen über einen Aluminiumreflektor. Dies gestaltete sich jedoch als etwas knifflig, da wir nicht die genaue Position der Membran innerhalb des Lautsprechers kannten und so den Abstand und die zu verwendende Frequenz nur annähernd bestimmen konnten. Dieses Problem lösten wir, indem wir den Reflektor fest einstellten und unterschiedliche Frequenzen ausprobierten, bis wir die optimale Frequenz fanden. Dass die Frequenz stimmte, erkannten wir daran, dass die Styroporkugeln, welche wir auf einem kleinen Netz in das Stehwellenfeld hielten, bei einer Bewegung entlang der Y-Achse in den Knotenpunkten hängen blieben oder nicht. So gelang es uns nicht nur eine, sondern drei (siehe Abb. 5.3) und sogar bis zu sechs (siehe Titelseite) Styroporkugeln schweben zu lassen.

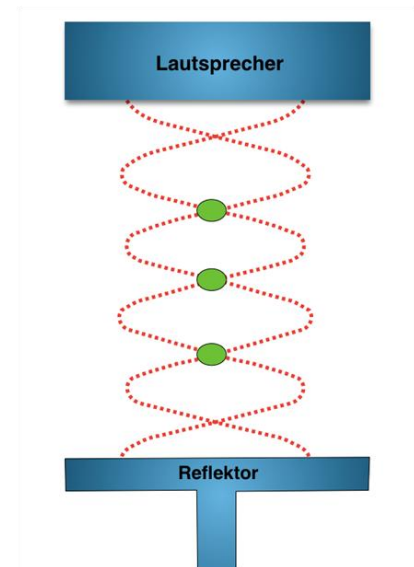


Abb. 5.2 Prinzip der Akustischen Levitation

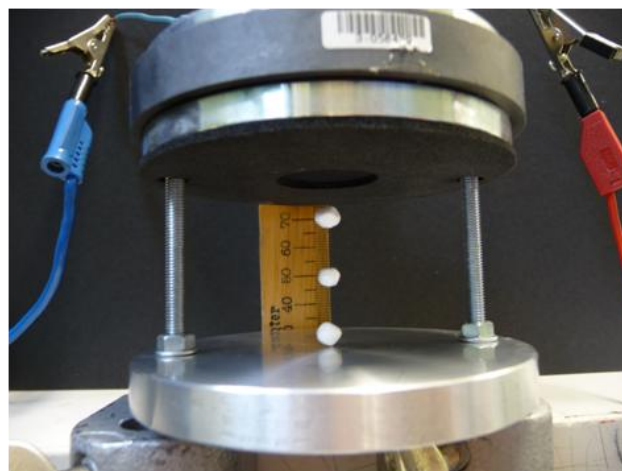


Abb. 5.3 Schwebende Styroporkugeln

Nach diesen erfolgreichen Versuchen wollten wir nun auch Wassertropfen levitieren lassen. Doch leider war unser Schallwellenfeld hierzu zu schwach. Was nun?

Nach längerer Diskussion kamen wir auf die Idee, unsere Wassertropfen elektrisch aufzuladen und das akustische Wellenfeld mit einem elektrischen Feld zu überlagern. Vorversuche im elektrischen Feld eines Kondensators (siehe Abb. 5.4) stimmten uns optimistisch.

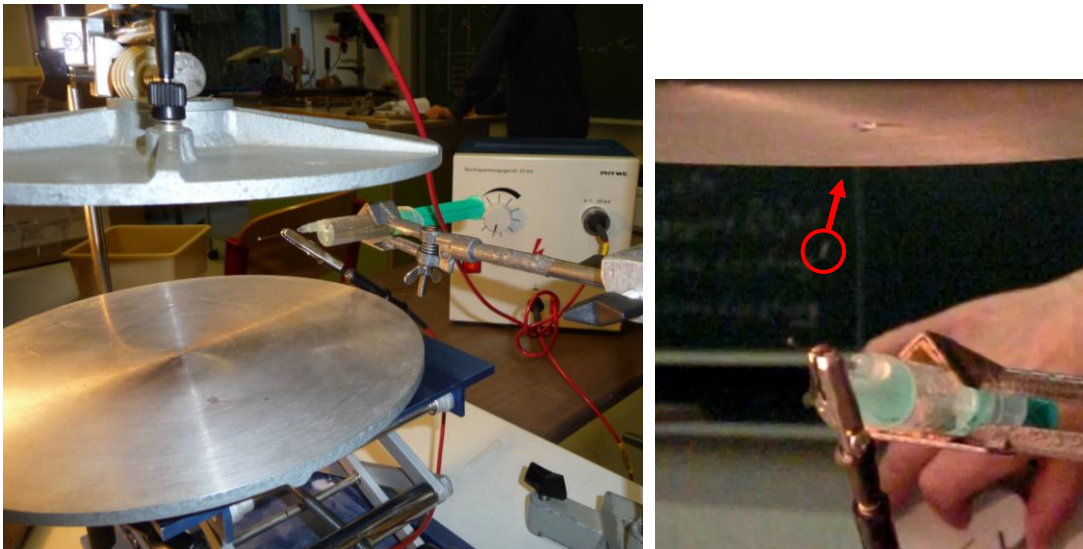


Abb. 5.4 Versuchsaufbau Hochspannung

Wir bauten nun in unsere akustische Apparatur zwei Metallsiebe als Kondensatorflächen ein (siehe Abb. 5.5).

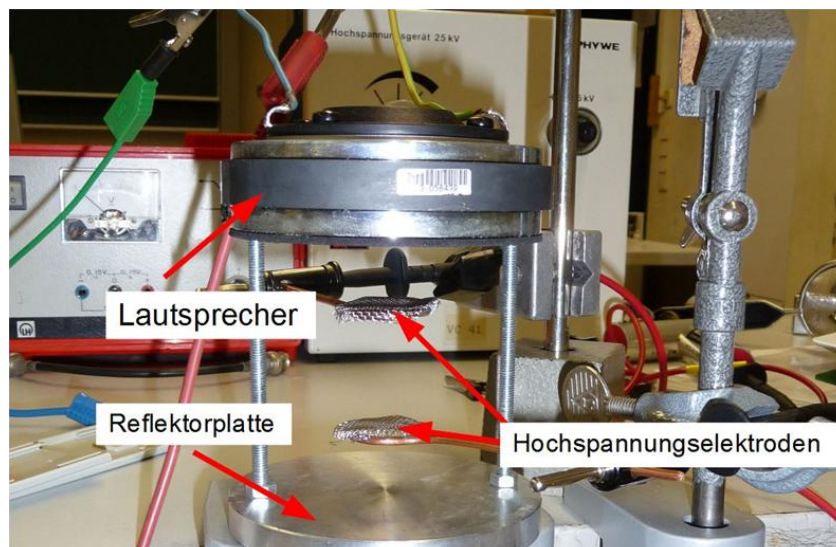


Abb. 5.5 Akustik und Hochspannung kombiniert



So optimistisch wie wir vorher waren, so enttäuscht waren wir nachdem wir den Versuch durchgeführt hatten. Durch eine Überspannung wurde unser Frequenzgenerator beschädigt, sodass bis zur Anschaffung eines neuen Frequenzgenerators keine weiteren Versuche mehr durchführen können. Die Zwischenzeit überbrücken wir mit der Herstellung eines Amplitudenverstärkers für Ultraschallwellen (siehe Abb. 5.6 und 5.7).

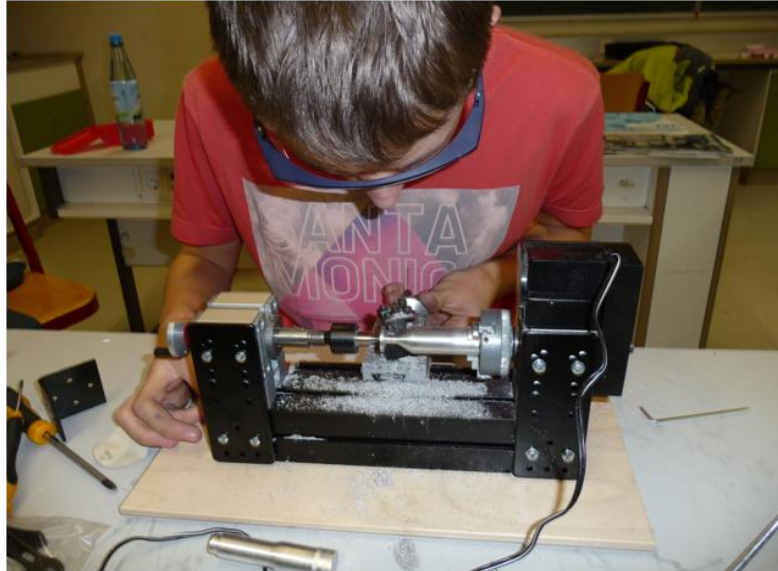


Abb. 5.6 Herstellung des Amplitudenverstärkers

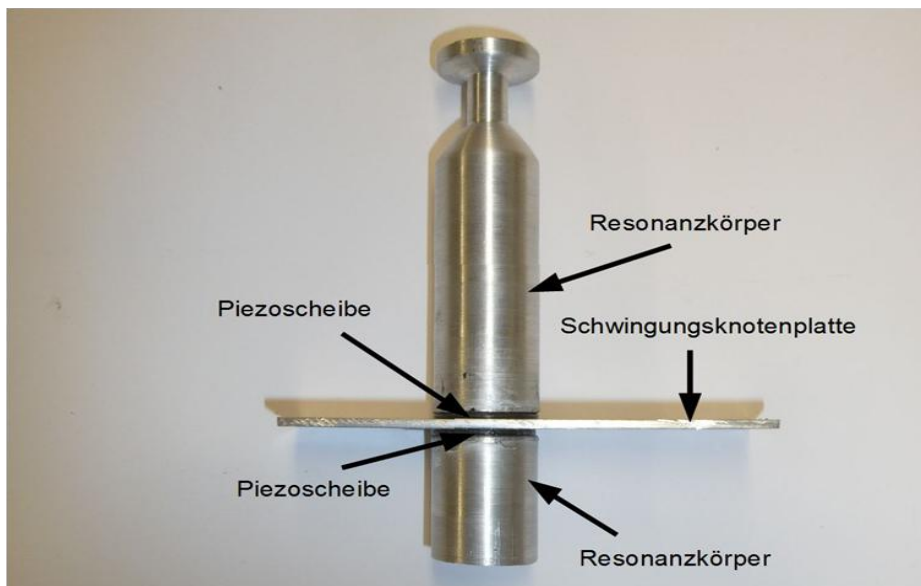


Abb. 5.7 Der fertige Amplitudenverstärkers

## 6. Ausblick

Sobald wir einen neuen Signalgenerator haben, möchten wir Versuche mit dem von uns gedrehten Amplitudenverstärker durchführen. Auch möchten wir mittels des Leidenfrostschens Phänomens weitere Versuchsreihen realisieren.

## 7. Danksagung

Wir bedanken uns bei unserem Betreuungslehrer Herrn Walter Stein, der uns immer mit Rat und Tat zur Seite stand und viele Stunden mit uns in der Physik verbracht hat. Des Weiteren danken wir Stefan Hück, der uns bei der Entwicklung des Verstärkers geholfen hat.

## 8. Literaturverzeichnis

[1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Harry\\_Kellar](http://en.wikipedia.org/wiki/Harry_Kellar)

[2] [http://de.wikipedia.org/wiki/Levitation\\_\(Zauberkunst\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Levitation_(Zauberkunst))

[3] <http://www.ru.nl/hfml/research/levitation/diamagnetic/>

[4] [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7b/Frog\\_diamagnetic\\_levitation.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/7b/Frog_diamagnetic_levitation.jpg)

[5] Leiterer, Jork Die Ultraschallfalle als analytisches Werkzeug

[6] Dirk Rensink Verdunstung akustisch levitierter schwingender Tropfen aus homogenen und heterogenen Medien, ERLANGEN 2004

[7] Jürgen Höppner Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler, München 2002