



# SOWAS - Sonolumineszenz

Gruppe J: Arne Müller, Fabian Jakubczyk, Björn Minneker, Jessica Göbel  
Projektleiter: Jannis Duvenbeck

## Motivation

Ziel des Versuchs ist es, **Tribolumineszenz** - wie sie z.B. bei der starken mechanischen Beanspruchung von Zuckerwürfeln entsteht - **mittels Ultraschall** zu erzeugen. In diesem Fall ist auch von **Sonolumineszenz** die Rede. Außerdem soll anhand des emittierten Lichtes eine **Spektralanalyse** der in einer Lösung angeregten Gase durchgeführt werden.

## Physikalische Grundlagen

Durch den Ultraschall werden **Druckschwankungen** in der Lösung erzeugt, welche wiederum zur **Kavitation**, der Ausbildung von gasgefüllten Blasen, führen (Abb.1). **Implodieren** die Gasbläschen wieder, so entstehen extreme Bedingungen von einigen tausend Grad Kelvin, sowie einigen hundert Vielfachen des Atmosphärendrucks. An den Außenbereichen der kollabierten Blasen entspringen nun intensive **Schockwellen** mit Überschallgeschwindigkeit. Diese Wellen wiederum beschleunigen die ca. 200  $\mu\text{m}$  großen Partikel, verursachen **Kollisionen** mit mehr als 100m/s (grob halbe Schallgeschwindigkeit) und somit **Risse bzw. Verformungen** des Kristallgitters. Außerdem kollidieren ebenfalls Teilchen bei der **raschen Expansion** der Gasblasen oder der **Implosion an sich**.

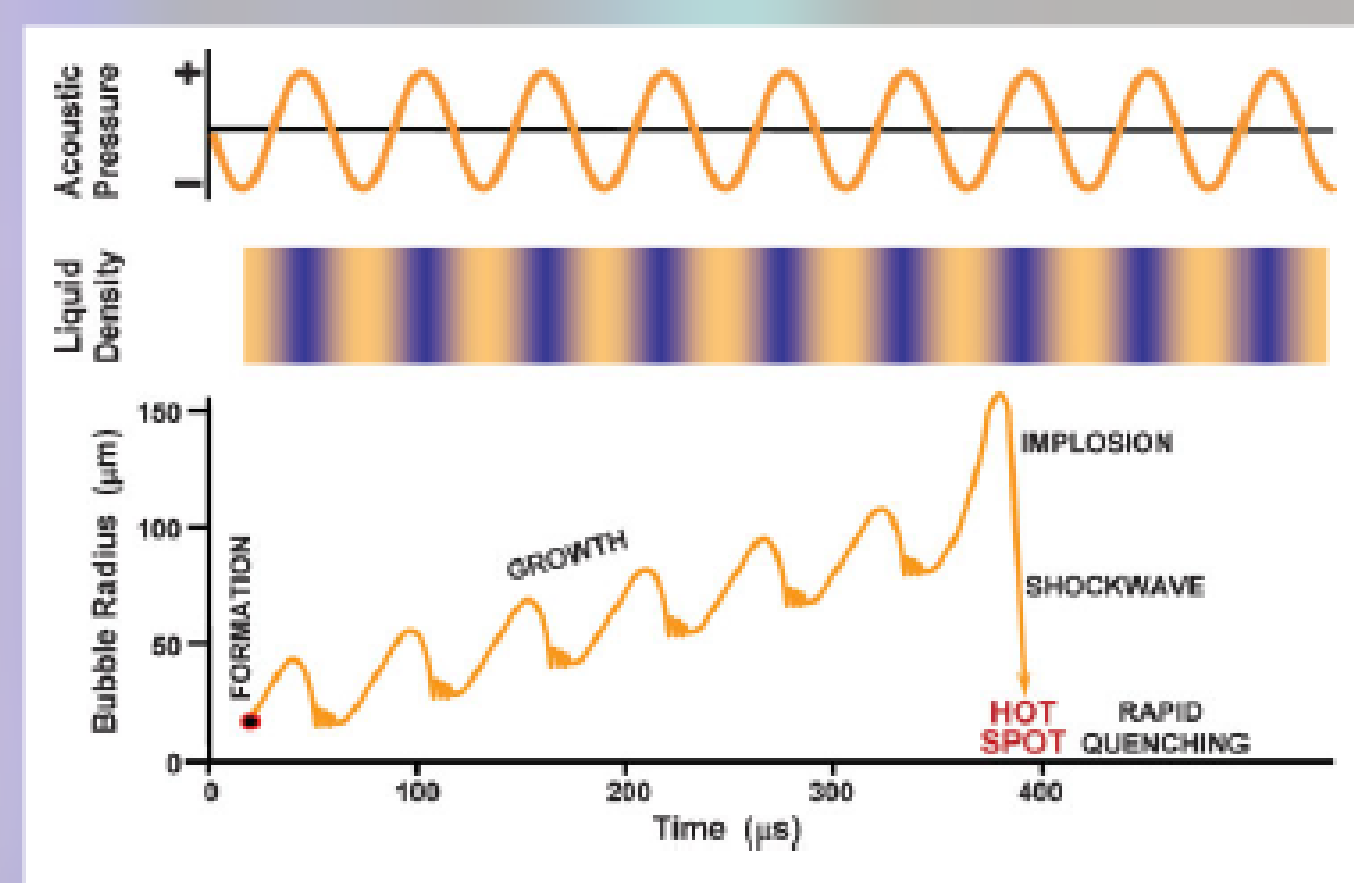


Abb.1: Schematische Entwicklung akustischer Kavitation. Copyright 1995, Materials Research Society. [1]

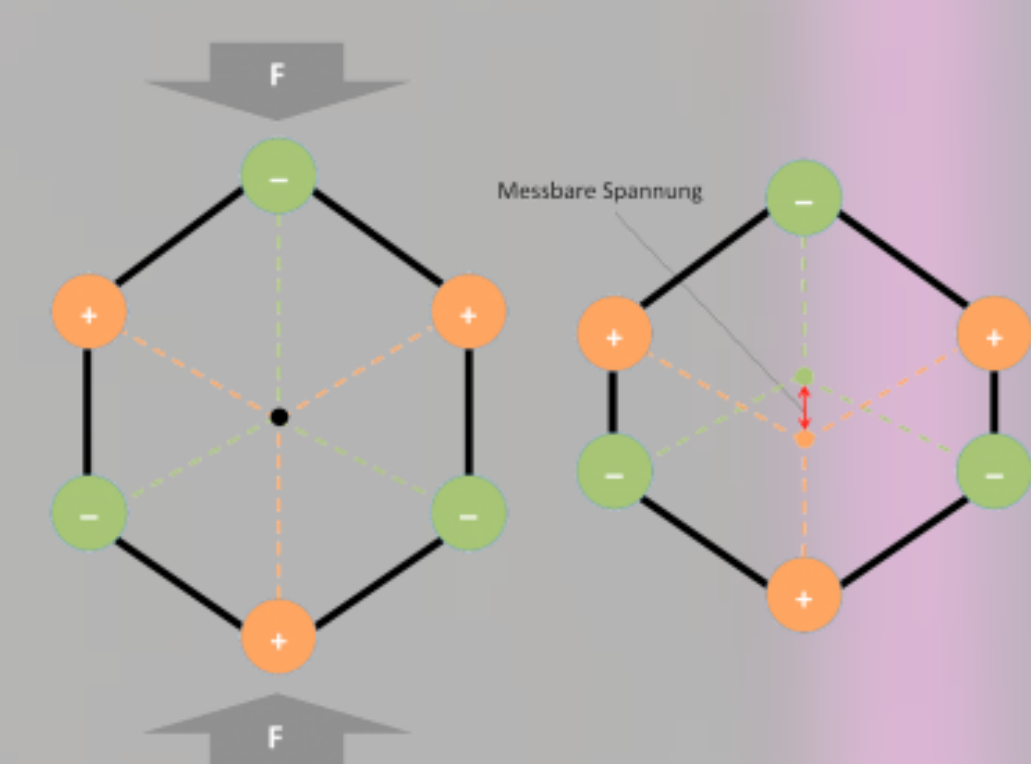


Abb.2: Schematische Darstellung des Piezoeffektes

Die genannten Verformungen führen zum sog. **piezoelektrischen Effekt**. Hierbei werden durch die Verformung die Ladungsschwerpunkte verschoben (Abb.2), sodass eine **Potentialdifferenz** entsteht, welche so groß werden kann, dass es zum **Überschlag** an den Mikrorissen kommt.

Dadurch wird das beigemischte Gas angeregt und es kommt zur **Gasentladung**, bei der Licht aufgrund der Rekombination der Elektronen frei wird. Die verschiedenen Energien  $\Delta E = h \cdot \nu$ , mit der Frequenz  $\nu$  und dem Planck'schen Wirkungsquantum  $h$ , dieser Photonen bilden ein für das Element **charakteristisches Spektrum**. Die zu erwartende Intensität der Emissionslinien ist gegeben durch

$$I_{nm} = \frac{hc}{4\pi} \cdot l \cdot \rho_o \cdot \frac{g_n}{Q} \cdot \frac{A_{nm}}{\lambda_n} \cdot \exp(-E_n/kT)$$

wobei  $c$  die Lichtgeschwindigkeit,  $k$  die Boltzmann-Konstante,  $l$  die Weglänge des Begrenzungsbereichs,  $\rho_o$  die Teilchenzahldichte,  $g_n$  der Entartungsgrad des oberen Zustands  $n$ ,  $Q$  die Zustandssumme,  $A_{nm}$  der Einstein Koeffizient,  $E_n$  die Energie des höheren Niveaus  $n$  und  $T$  die absolute Temperatur ist.

Ungefähr 36% aller anorganischen sowie 19% der organischen Verbindungen weisen Mechanolumineszenz auf. Bereits 1605 beobachtete Sir Francis Bacon den Effekt an Zucker, dennoch ist dieser noch vergleichsweise unerforscht.

## Versuchsaufbau und Variationen

Aufgrund anfangs sehr spärlicher Informationen über die Details des ursprünglichen Versuches, der uns motiviert hatte, mussten sowohl Aufbau als auch Zusammensetzung der beschallten Lösung sowie weitere Parameter wiederholt abgeändert werden.

Die Lösung bestand aus dem Alkan Hexadecan ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ), geeigneten Kristallen wie Zucker oder Resorcinol ( $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_2$ ) und einem beigefügten elementaren Gas (N, He).

## Auswertung

Da **keine Messwerte** generiert werden konnten, **vergleichen** wir hier nun die Messwerte aus dem Zeitungsartikel der „Nature“. Dort ist ein deutliches **spektrales Maximum**, bei einer der Spektrallinien von **Helium** zu erkennen. Die weiteren Ausschläge sind durch sekundäre Effekte zu erklären, wie z.B. eine **Stickstoff-Kontamination** durch das Diffundieren der Umgebungsluft in das Alkan. Da diese allerdings für die Auswertung hier nicht von Relevanz sind, werden sie vernachlässigt.

Die **Kopplung** von **Kavitation** und dem **piezoelektrischen Effekt** ist sehr empfindlich, deshalb können geringe Abweichungen schon eine **starke negative Auswirkung** auf das erfolgreiche durchführen des Experimentes haben. Die Parameter, die bis zuletzt

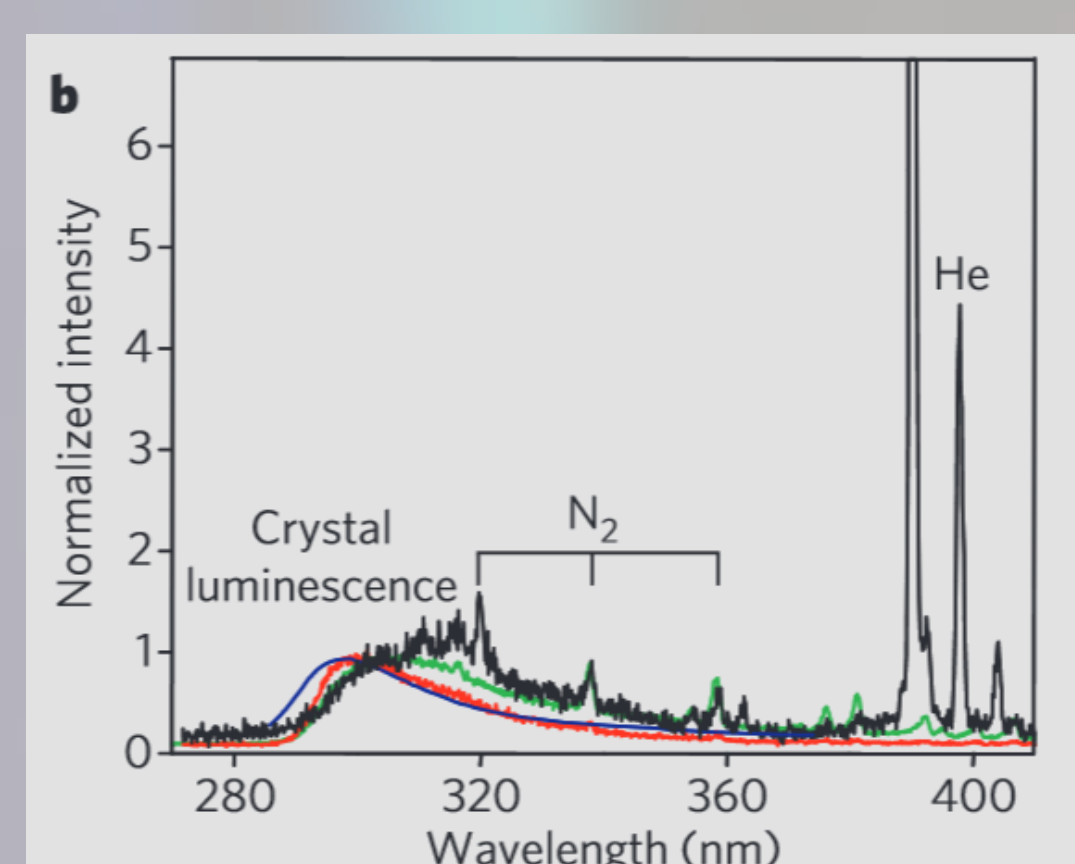


Abb.7: erwartetes He-Spektrum (Ausschnitt), [4]

### I Medizinerküvette:

In unserem ersten Aufbau haben wir eine **Küvette** (Abb.3) verwendet, welche zwei Öffnungen hatte, durch die wir das **Helium** einleiten und ausströmen lassen konnten. In die Küvette füllten wir eine zuvor angemischte **Hexadecan-Zucker-Lösung** und beschallten diese von einer Seite der Küvette durch die Scheibe mit **Ultraschall** (Leistung: ca. 0.25 - 3  $\text{W}/\text{cm}^2$ , je nach Frequenz). Auf der anderen Seite befestigten wir das **Spektrometer** genau gegenüber des Ultraschallkopfes. Jedoch konnten wir optisch weder ein Leuchten in der Küvette erkennen, noch detektierte das Spektrometer einen Ausschlag. Variiert hatten wir sowohl die Lösung selbst (Mischverhältnis und Kristallgröße des Zuckers), als auch die Frequenz. Bezüglich letzterer hatten wir zunächst Ultraschallsensoren mit diskreten Frequenzen (4MHz, 2MHz) und anschließend einen kontinuierlich regelbaren im Bereich von 1.0Hz bis 13.0 MHz.



Abb.3: Aufbau mit Medizinerküvette

### II Becherglas:

Um das Gefäß besser befüllen zu können, da die Lösung mitunter sehr **viskos** war, und das zuvor gemischte Verhältnis nicht zu verschieben, nutzten wir nun ein Becherglas, an dessen Boden wir den Ultraschallkopf anbrachten. Es wurde weiterhin das gleiche Ultraschallgerät verwendet. Der Aufbau war zwar besser handzuhaben, jedoch war weiterhin kein Leuchten erkenn-, oder messbar.



Abb.4: Aufbau mit Becherglas

### III Ultraschallbad:

Außerdem versuchten wir es mit Hilfe eines **Ultraschallbads**, wie es zum Reinigen von Brillen verwendet wird, um die Lösung **direkt** ohne zwischengeschaltete Scheibe **anzuregen**. Auch diese Variante blieb ohne Erfolg.

### IV Verbesserter Generator

Unser letzter Aufbau bestand aus einem erheblich **stärkeren Ultraschallgenerator** (Leistung : 12 - 400  $\text{W}/\text{cm}^2$ ), dessen Sonatorkopf **direkt** in die Flüssigkeit **eingetaucht** werden kann. Die Zuckerlösung wurde zwei Stunden mit Helium durchspült bevor mit dem Beschallen begonnen wurde. Das **Spektrometer** wurde so angebracht, dass es direkt auf die **Spitze des Sonatorkopfes** zeigt, da dort die **meiste Kavitation** auftritt. Außerdem wurde nach erneuten Fehlversuchen der Zucker

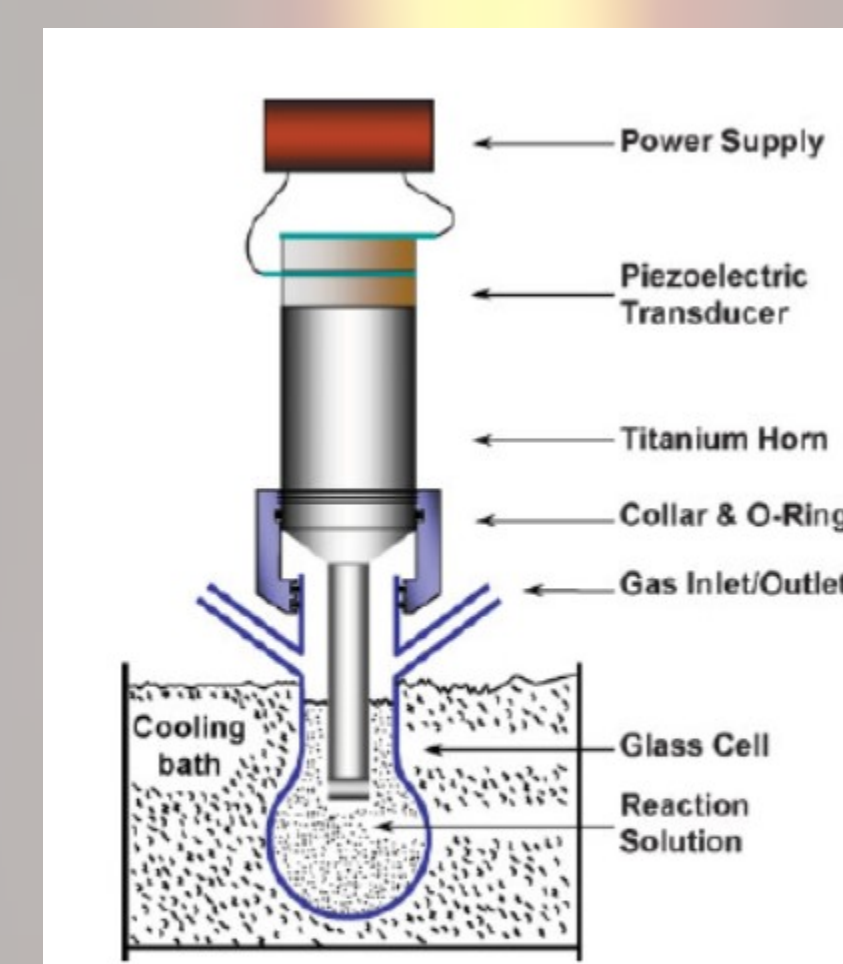


Abb.6: schematischer Aufbau in Idealform, [1]

durch **Resorcinol** ersetzt und das Helium durch **Stickstoff**, da dies die Lichtausbeute erhöhen sollte. Das Resorcinol wurde außerdem noch gesiebt, um es auf die richtige **Korngröße** zu filtern. Außerdem wurde zusätzlich eine **Kühlvorrichtung** installiert, um dem Temperaturanstieg entgegen zu wirken. Allerdings blieben auch diese Messungen **ohne Erfolg**.

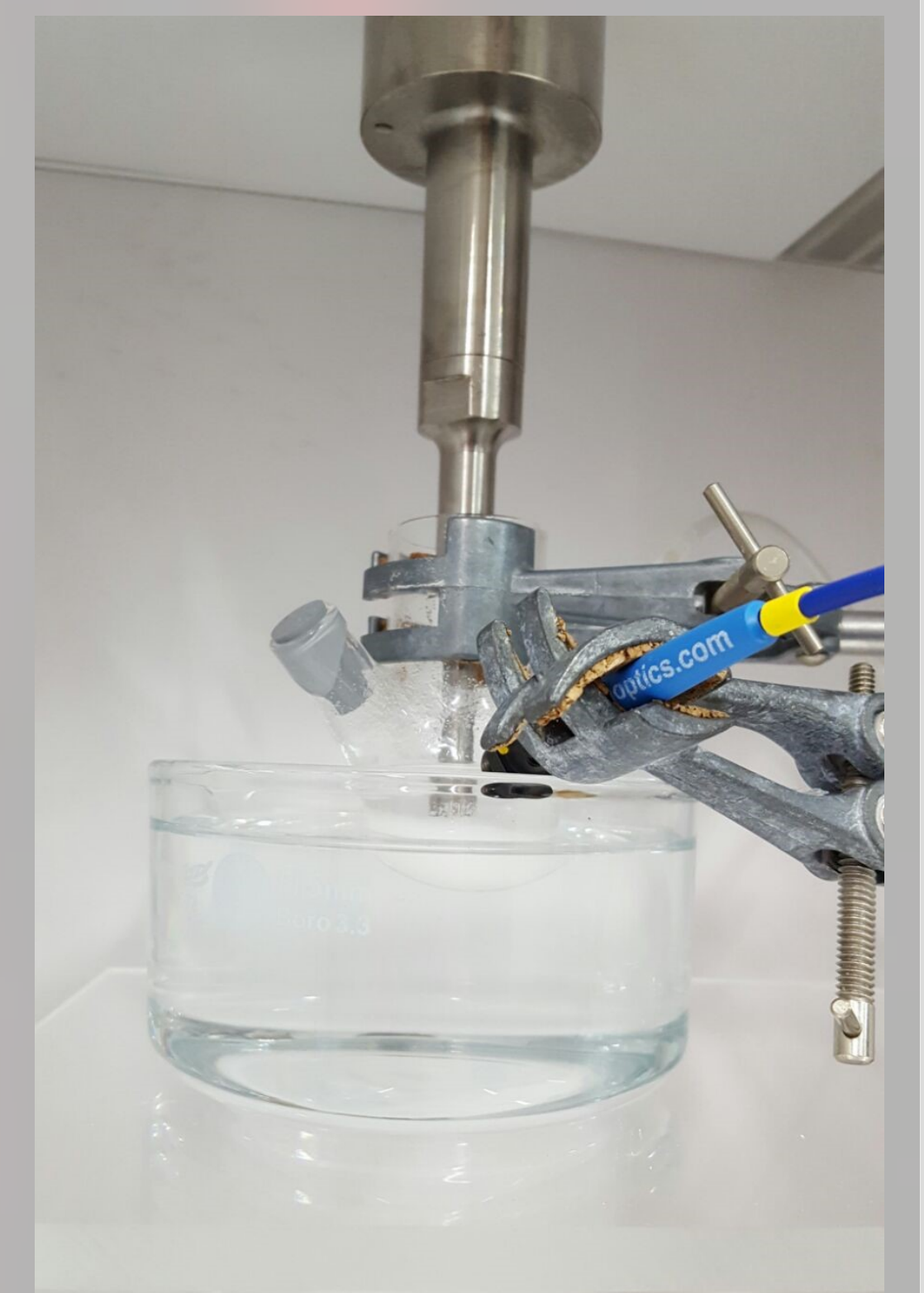


Abb.5: finaler Aufbau mit leistungsstärkerem Generator, Dreihalskolben, Wasserkühlung

nicht ausreichend genau angepasst werden konnten sind die **Temperatur** (300 K), die **Leistung** (5,75  $\text{W}/\text{cm}^2$ ) und die **Frequenz** (20 kHz). Dies lag in erster Linie an begrenzter Zeit und monetären Mitteln.

## Fazit

Aufgrund der **komplizierten** und **schwer zu reproduzierenden Struktur** des Experimentes ist es nicht gelungen, eine der Spektrallinien von **Helium bzw. Stickstoff** zu detektieren.

Dies ist für den Versuch an sich natürlich fatal, doch konnten wir viel über das **wissenschaftliche Arbeiten** und dessen Tücken lernen.

Da dies die **primäre Motivation** des SOWAS-Projektes war, können wir es trotzdem als **erfolgreich durchgeführt** ansehen.

## Quellenangaben

- [1] Bang, J. H.; Suslick, K. S. "Applications of Ultrasound to the Synthesis of Nanostructured Materials" Advanced Materials 2010
- [2] Suslick, K. S.; Flannigan, D. J. "Inside a Collapsing Bubble: Sonoluminescence and the Conditions during Cavitation" Annu. Rev. Phys. Chem. 2008
- [3] Suslick, K. S. "Mechanochemistry and Sonochemistry: Concluding Remarks" Faraday Discuss. 2014
- [4] Eddingsaas, N. C.; Suslick, K. S. "Mechanoluminescence: Light from sonication of crystal slurries" Nature, 2006
- [5] [http://www.pro-physik.de/details/news/1114605/Ultraschall\\_laesst\\_Zucker\\_leuchten.html](http://www.pro-physik.de/details/news/1114605/Ultraschall_laesst_Zucker_leuchten.html)

- [6] Prozorov, T.; Prozorov, R.; Suslick, K. S. "High Velocity Inter-Particle Collisions Driven by Ultrasound" J. Am. Chem. Soc. 2004
- [7] <https://de.wikipedia.org/wiki/Sonolumineszenz>



Für mehr Bilder, Literatur etc. einfach den Code scannen