Inhaltsverzeichnis:

1 Kurzfassung S. 2

2 Forschungsidee S. 3

3 Magnetnadelmodell und Plasmakristalle S. 4

4 Praktischer Nutzen der Plasmakristalle S. 5

5 Vom heißen zum kalten Plasma S. 5

6 Planung und Bau einer Plasmakammer

- 6.1 Probleme S. 6
- 6.2 Vom Prototypen zur ersten Plasmakammer S. 7
- 6.3 Vorversuche mit Plasmakammer und Teslatrafo S. 8
- 6.4 Die Einbringung von Stäuben S.10
- 6.5 Die Beleuchtung der Plasmakristalle S.11

7 Der „Dustdropper“ S.12

8 Ein Besuch an der Universität zu Kiel S.13

9 Dunkelraum und Plasmakristalle S.13

10 Aufnahmen mit der Lochelektrode S.15

11 Linkliste S.15

1 Kurzfassung

Im Jahr 1994 gelang es erstmals den Wissenschaftlern des Max-Planck-Instituts zu Garching Plasmakristalle zu erzeugen. Als Plasmakristalle bezeichnet man Mikropartikel, die sich im Plasma elektrisch aufladen und unter bestimmten Bedingungen - über einer Elektrode schwebend - zu kristallinen Formen ordnen. Die Bedeutung der Plasmakristalle wird besonders dadurch deutlich, dass eines der ersten Experimente auf der Internationalen Raumstation (ISS) sich diesen widmete. Plasmakristalle eigenen sich nicht nur hervorragend zur Grundlagenforschung, sie bieten auch viele neue Anwendungsmöglichkeiten. So zum Beispiel in der Nanotechnologie und Elektronik. Solarzellen, beschichtet mit den Kristallen aus dem Plasma, haben einen doppelt so hohen Wirkungsgrad wie herkömmlich beschichtete Zellen. Fasziniert von diesen Kristallen, setzten wir uns das Ziel, selbst Plasmakristalle herzustellen. Allerdings standen wir vor dem Problem, dass unsere Schule keineswegs mit der technischen Ausstattung des MPE Garching oder der ISS mithalten kann. Dies machte es uns nicht einfach, aber schon 2001 schafften wir es in einer SchüEx-Arbeit heiße Plasmen im Mikrowellenherd zu zünden. Für unser Vorhaben eigneten sich diese heißen Plasmen aber nicht. Wir schafften es nach langem Experimentieren mittels eines Teslatrafos und einer selbstgebauter Plasmakammer ein kaltes Plasma zu erzeugen, welches zur Kristallbildung unabdingbar ist. Lange mussten wir unseren Versuchsaufbau und unsere Apparatur verändern, bis wir letztendlich keine Plasmaschläuche und Feldschwankungen, sondern ein homogenes Plasma in einer Argonatmosphäre bei sehr geringem Druck bekamen. Glücklich über diesen Fortschritt, machte uns jetzt die Einbringung der Mikropartikel große Sorgen. Wir lösten dieses Problem anfangs mit einem Lautsprecher und später mit einem selbstgebauten Dustdropper.
Wichtige Informationen bzgl. Plasmaphysik und Plasmakristalle sowie eine Feinstaubprobe „Microspheres“ erhielten wir bei unserem Besuch der Christian-Albrechts-Universität in Kiel. Bei unseren Experimenten in Kiel stellten wir fest, dass unsere selbstgebaute Plasmakammer voll funktionsfähig war. Nur die Leistung unseres Teslatrafos war zu gering, um einen Dunkelraum zwischen der unterer Elektrode und dem Plasma zu erzeugen. Nur über diesem Dunkelraum können die Mikropartikel schweben. Freundlicherweise stellte uns die RWTH-Aachen einen selbstgebauten 13,56 MHz-Sender zur Verfügung. Nachdem wir die Impedanz unserer Kammer an diesen Sender angepasst hatten, konnten wir ein Plasma mit Dunkelraum zünden. Nur wenige Tage später gelang uns dann die Erzeugung eines eigenen Plasmakristalls. Inzwischen experimentieren wir mit unterschiedlichen preiswerten Stäuben. Besonders stolz sind wir auf unser erstes organisches Plasmakristall, welches wir aus Bärlappsporen erzeugt haben. Weiter haben wir es geschafft, unsere Staubpartikel von oben zu filmen. Man erkennt deutlich die hexagonale Struktur der Teilchenanordnung. Damit haben wir den Beweis erbracht, dass wir Plasmakristalle mit einfachen Mitteln erzeugen können.

.

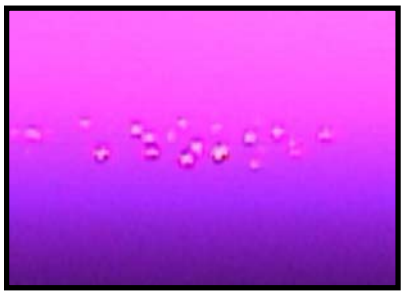


Abb. 1.1: Unser erstes Plasmakristall aus Microspheres

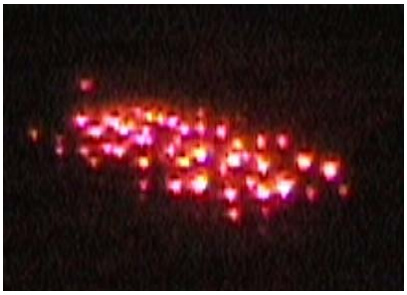


Abb. 1.2: Plasmakristall aus Bärlappsporen

Abb. 1.3: Plasmakristall aus Xerox-Toner

2 Forschungsidee

Ein Thema, dass in Deutschland besonders zurzeit viel Interesse weckt, erinnerte uns spontan an Moritz SchüEx-Arbeit „Physikversuche im Mikrowellenherd“ von 2001. Seit die Wissenschaftler vom Max-Planck Institut zu Garching es schafften, 1994 zum ersten mal so genannte Plasmakristalle zu ‚züchten’, wird dieses Phänomen auch weltweit zunehmend intensiver erforscht. Dies wird auch dadurch verdeutlicht, dass die ersten Versuche auf der internationalen Raumstation ISS sich mit diesem Thema beschäftigten.

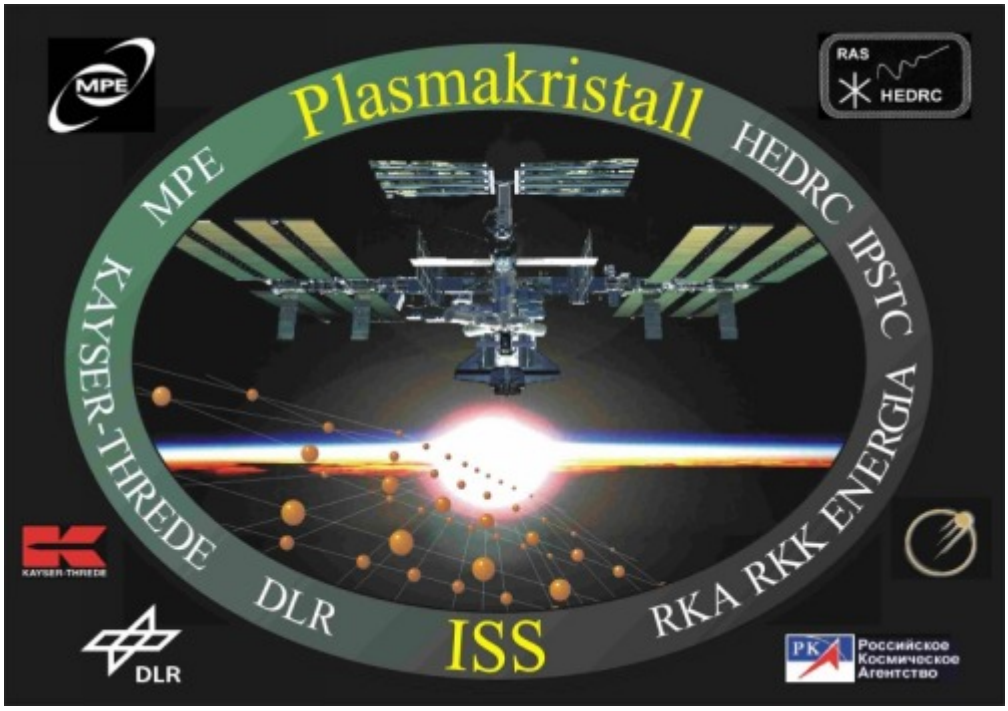


Abb. 2.1: Plasmakristallexperimente wurden auch auf der Internationalen Raumstation durchgeführt.

So kam uns die Idee, das alte Projekt wieder aufzugreifen und eine praktische Anwendung für die von uns in der Mikrowelle erzeugten Plasmen zu finden. Zu einer Studentengruppe aus Aachen, die ein Forschungsprojekt für einen Parabelflug suchten, hatten wir hierbei ein ganz besonderes Verhältnis. So konnten wir ihnen am Anfang durch unsere Vorversuche entscheidende Anregungen geben, woraus sich eine Partnerschaft bildete, die auch für uns am Ende zu einem großen Vorteil wurde.
Gleich zu Beginn unseres Projektes hatten wir zwei große Probleme. Erstens besitzt unsere Schule nicht die technische Ausstattung, um derartige Experimente durchzuführen und zweitens gibt es zu diesem Thema nur wenig Informationsmaterial. Trotzdem stand unser Ziel fest:

Wir wollten mit unseren einfachen Möglichkeiten einen Weg finden, um Plasmakristalle herzustellen.

3 Magnetnadelmodell und Plasmakristalle

Von Kristallen spricht man, wenn die atomaren Bausteine eines Stoffes eine Fernordnung in alle drei Raumrichtungen aufweisen. Zur Beschreibung des Kristallaufbaus genügt die Kenntnis der Art und Gestalt des kleinsten repräsentativen, sich wiederholenden „Motivs".
Die Atome sind also so angeordnet, dass sich ihre Abstände periodisch im Raum wiederholen. Ihr Aufbau kann als eine Zusammenfügung von Elementarzellen - auch als Kristallgitter bezeichnet - beschrieben werden.
Am Anfang konnten wir uns diese Strukturen nur sehr schlecht vorstellen, bis Herr Stein uns nach den Sommerferien mit einem Modell überraschte, dass das Verhalten zweidimensionaler Plasmakristalle modellhaft veranschaulicht. Er hatte sich in den Ferien mit einem Kollegen, Herrn Finkenrath, getroffen, den wir im Laufe des *Jugend-forscht*-Wettbewerbs 2001 selber kennen gelernt haben. Als Geschenk brachte er einen Versuchaufbau mit, ohne zu wissen, dass dieses Magnetnadelmodell sehr gut zu unserem Forschungsthema passt. Dieses Modell besteht aus einem drahtumwickelten Plexiglas-Zylinder, der mit Wasser gefüllt wird. In dem Wasser schwimmen magnetisierte Stecknadeln. Lässt man nun einen Strom durch die Spule fließen, so ordnen sich in dem entstandenen Magnetfeld die Nadeln ähnlich an, wie die Staubpartikel im elektrischen Feld zum Plasmakristall.

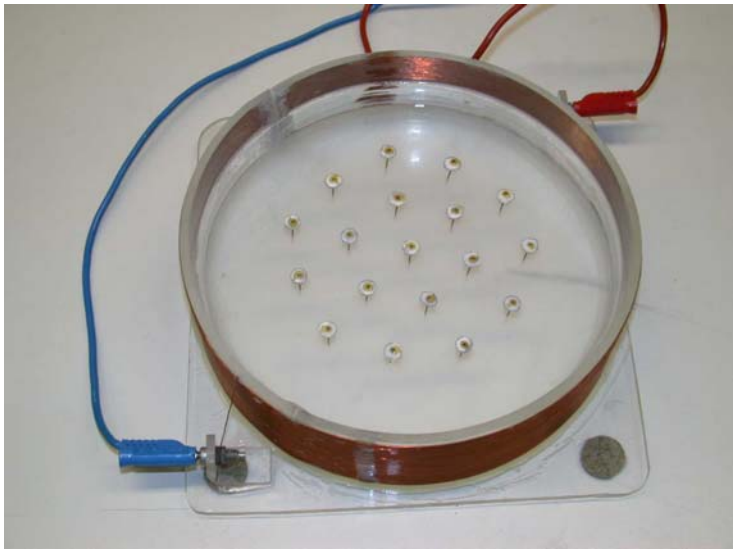


Abb. 3.1: „Kristallstrukturen" im Magnetnadelmodell

Plasmakristalle bestehen jedoch nicht aus Magnetnadeln sondern aus kleinen Staubpartikeln. Dabei wird ausgenutzt, dass sich die in das Plasma eingebrachten Partikel elektrisch aufladen. Sie verhalten sich daher wie geladene Atome, sind jedoch ungleich größer und daher bedingt sichtbar. Um unsere Mikropartikel aufzuladen brauchten wir allerdings ein Plasma.
Als Plasma wird ein heißes Gas bezeichnet, in dem sich die Atome in ihre Bestandteile - positiv geladene Ionen und negativ geladene Elektronen - aufgelöst haben, welche wild durcheinander fliegen. Es ist der ungeordnetste Zustand der Materie, der insgesamt gesehen ladungsneutral ist. Gelangen in dieses Plasma Kolloide, das sind winzige Mikropartikel, wie beispielsweise Staub, so kann daraus ein „staubiges Plasma" entstehen, das ebenfalls ladungsneutral ist.
1994 wiesen Wissenschaftler des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik erstmals nach, dass solch „staubige Plasmen" sich unter bestimmten Bedingungen spontan selbst organisieren und sowohl flüssige als auch kristalline Formen annehmen können. Damit waren die exotischen, ebenfalls ladungsneutralen, „Plasmakristalle" geboren. An ihnen lassen sich die Eigenschaften der Materie in den Phasenübergängen vom Gas zur Flüssigkeit und zum festen Körper studieren. Bald war klar, dass für weitere Untersuchungen unbedingt die Schwerelosigkeit bzw. die Mikrogravitation benötigt wird, denn auf der Erde drückt die Gravitation die Kristalle zusammen. Untersuchungen von dreidimen-

sionalen Oberflächen- und Grenzflächenphänomenen sind deshalb nur im All oder bei Parabelflügen möglich.

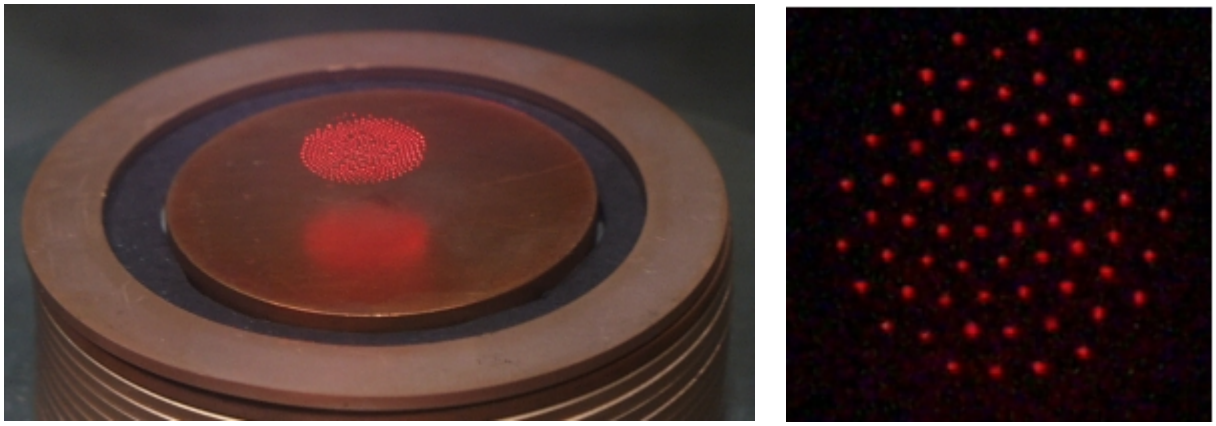


Abb. 3.2: Ein zweidimensionaler Plasmakristall schwebt über einer Elektrode (Sandia National Laboratories. USA)

4 Praktischer Nutzen der Plasmakristalle

Diese Plasmakristalle sind für die Forschung nicht nur deshalb so interessant, weil man an ihnen die Eigenschaften von Kristallen sehr gut beobachten kann, sondern auch weil sich viele ganz neue, praktische Anwendungsmöglichkeiten ergeben. So zum Beispiel in der Nanotechnologie und Elektronik. Forscher können mit diesen schwebenden Kristallen Oberflächen auf ganz neue Art beschichten. Wissenschaftler aus Paris haben jetzt schon eine Solarzelle entwickelt, die, beschichtet mit den Kristallen aus dem Plasma, einen doppelt so hohen Wirkungsgrad wie herkömmlich beschichtete Zellen hat.

5 Vom heißen zum kalten Plasma

Unser erstes großes Problem hatten wir, als wir die Versuche der alten Arbeit noch einmal durchführten. Den hohen Plasmatemperaturen in der Mikrowelle hielten alle Geräte nur sehr kurze Zeit stand.
Sogar feuerfeste Gläser zerplatzten nach einigen Sekunden. Wir mussten also unseren Plasmabehälter irgendwie „kühlen“. Natürlich dachten wir dabei spontan an eine Kühlung von außen. Die hierbei entstehende Temperaturdifferenz hätte mit großer Sicherheit aber auch zur Zerstörung unserer Glasbehälter geführt. Somit kamen wir zu dem Schluss, dass wir an Stelle einer Kühlung besser die Gesamtenergie des Plasmas senken sollten. Dies war logischerweise über die Dezimierung der Teilchenanzahl am einfachsten. Die theoretische Erkenntnis in die Praxis umzusetzen erforderte allerdings mehr Arbeit. Da wir unser Plasma noch immer im kompletten Innenraum einer Mikrowelle zündeten, konnten wir den Druck nicht so einfach reduzieren. Am besten eignete sich ein evakuierter, druckfester Erlenmeyerkolben. In diesen setzten wir einen $\lambda/2$–Draht, pumpten die Luft ab und stellten ihn in die Mikrowelle. Und das Plasma zündete wirklich!!! Hierzu brauchten wir sogar weniger Energie als für die vorherigen Plasmen bei normalem Luftdruck. Wir hatten unser erstes Problem gelöst, denn der verwendete Kolben hielt dem Plasma jetzt problemlos stand.

Abb. 5.1: Glühbirne aus unserer Mikrowelle. Die Hitze des entstandenen Plasmas hat das Glas durchgeschmolzen.

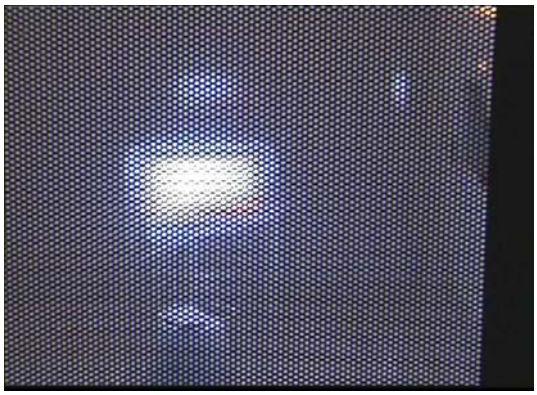


Abb. 5.2: Das Plasma in unserem Mikrowellenherd konnte für kurze Zeit im einem feuerfesten Glas gehalten werden.

6 Planung und Bau einer Plasmakammer

6.1 Probleme

Nachdem wir das Problem, ein kaltes Plasma zu erzeugen, gelöst hatten, versuchten wir unseren Versuchsaufbau an unsere Experimente anzupassen. Hierzu probierten wir es zuerst mit einem Umbau der Mikrowelle. So störte uns das in die Tür eingelassene Metallgitter sehr, da wir so durch die Scheibe unsere Plasmen nur schlecht beobachten und kaum zufrieden stellend per Kamera aufnehmen konnten. Dieses Gitter konnte aber aus Gefahrengründen nicht einfach entfernt werden. Generell war aber der Mikrowellenherd zu unflexibel für unser weiteres Arbeiten und so kamen wir schnell zu der Überzeugung, dass diese Apparatur unseren Ansprüchen nicht mehr gerecht werden konnte. Nachdem wir uns dann zum Bau einer eigenen Plasmakammer durchgerungen hatten, wurde unsere anfängliche Euphorie aber schnell wieder gebremst. „Wie sollten wir überhaupt ein Plasma außerhalb der Mikrowelle erzeugen?“ Eine Bestrahlung mit Mikrowellen, wie wir sie vorher verwendet hatten schlossen wir schnell aus, da wir uns der Gefahr der Strahlen hätten aussetzen müssen. Auch die Möglichkeit, die bei den professionellen Plasmakristallversuchen verwendet wurde, war für uns nicht durchführbar. Hierzu hätten wir einen leistungsstarken Hochfrequenzgenerator benötigt, doch diese sind nur schwer zu bekommen und recht teuer. Also dachten wir weiter nach, wie wir ein für unsere Zwecke geeignetes Plasma ‚zünden’ konnten. Plötzlich kam uns eine Idee: Wurden während der alljährlich zum „Tag der offenen Tür“ an unserer Schule durchgeführten Physikshow nicht auch Plasmen gezündet?

Abb. 6.1: Ein Höhepunkt unserer Physikshow: Eine mit Helium gefüllte Kugel wird neben den Teslatrafo gehalten und ein Plasma erleuchtet.

Der Aufbau bei diesem Showversuch besteht aus einem Teslatrafo, der ein hochfrequentes, starkes elektromagnetisches Feld erzeugt. Dieses regt dann gasgefüllte Röhren, die in die Nähe gehalten werden, zum Leuchten an, zündet also ein Plasma in ihnen. Jetzt wussten wir, dass wir es schaffen konnten, mit den vorhandenen Mitteln unsere eigene Plasmakammer zu bauen.

6.2 Vom Prototypen zur ersten Plasmakammer

Da wir nun ein kaltes Plasma erzeugen konnten, planten und bauten wir unsere erste Plasmakammer. Wir befestigten auf der Ober- und Unterseite eines Glaszylinders eine 5mm dicke Aluminiumplatte (1), an der jeweils in der Mitte ein Aluminiumzylinder (2) angebracht ist, welcher als Elektrode dient. In der oberen Platte befindet sich ein Schlauchstutzen (3), durch den die Luft mittels einer Vakuumpumpe abgesaugt werden kann. Zwischen der oberen und der unteren Elektrode besteht ein Abstand von 4cm (Abb. 6.2 und Abb. 6.3).

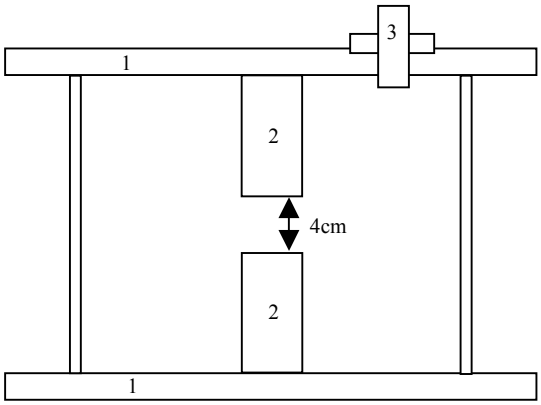


Abb. 6.2: Längsschnitt durch unsere Plasmakammer

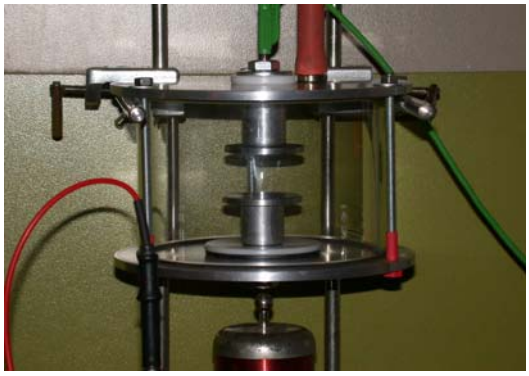


Abb. 6.3: Foto von unserer Plasmakammer

Nun waren wir theoretisch in der Lage, unser Plasma zu zünden. Wir bauten zunächst ein provisorisches Gestell aus Metallstangen, in das man unsere Plasmakammer mit der oberen Aluminiumplatte einhängen konnte. Unter die Kammer stellten wir den Teslatrafo, sodass der erzeugte Blitz in die untere Metallplatte und somit in die untere Elektrode einschlagen konnte. Das Metallgestell erdeten wir in der Hoffnung, dass nun das elektrische Feld des Teslatrafos stark genug ist um ein Plasma zu zünden.

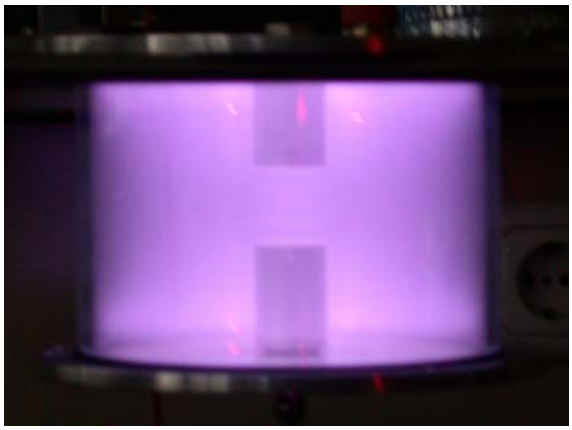
Abb. 6.4: Unser Versuchsaufbau: Rechts: die Laser-Wasserwaage, Links: Plasmakammer und Teslatrafo

Alle praktische Arbeit wurde von uns selbst durchgeführt, da ein Teammitglied über die entsprechenden Fähigkeiten und Maschinen verfügt.

6.3 Vorversuche mit Plasmakammer und Teslatrafo

Tatsächlich gelang das Experiment mit unserem Versuchsaufbau und wir erzeugten unser erstes Plasma außerhalb der Mikrowelle.

Abb. 6.5: Unser erstes außerhalb der Mikrowelle erzeugtes Plasma



Ein Problem bestand jedoch darin, dass es sich hierbei um ein sehr unruhiges Feld handelte und sich nicht wie erhofft zwischen den Elektroden, sondern in der gesamten Kammer bildete (Abb. 6.5). Wir versuchten nun das Plasma auf den Raum zwischen den beiden Elektroden zu konzentrieren. Wir isolierten die beiden Elektroden von der Aluminiumplatte und sorgten gleichzeitig dafür, dass der Blitz von außen in die Elektroden einschlagen kann. Dazu frästen wir aus der Mitte der Aluplatten, wo normalerweise die Elektroden befestigt sind, eine Scheibe mit ungefähr 3cm Durchmesser heraus und pressten eine entsprechend große Kunststoffplatte unter hohem Druck hinein (Abb. 6.6).

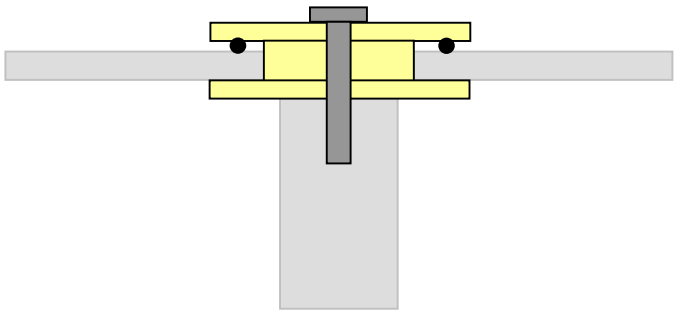
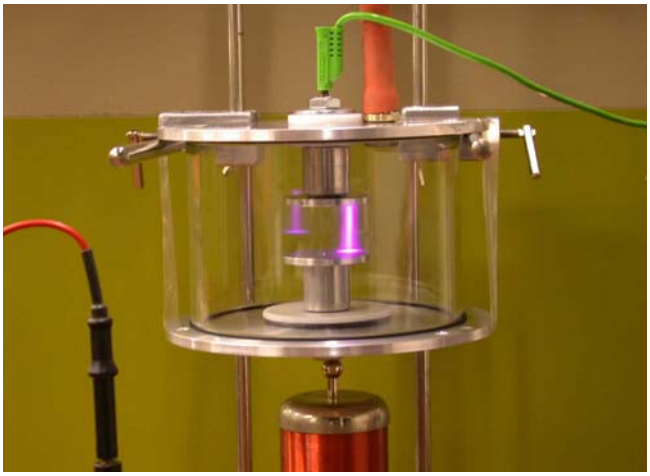


Abb. 6.6: Die eingesetzte Kunststoffplatte

Die ersten Versuche führten wir mit abgeflachten Elektoden durch. Wir hatten jedoch befürchtet, dass die gleich geladenen Staubpartikel sich auf der Oberfläche so abstoßen, dass sie von der Elektrode herunterfallen. Aus diesem Grund fräßten wir eine leichte Wölbung in die untere Elektode. Allerdings bildete sich nun kein homogenes Plasma mehr. Wir bekamen lediglich noch Plasmaschläuche am Rand der Elekrode, da der Abstand zur oberen Elektrode dort am geringsten ist. Bei der geringen Einwölbung hatten wir dies nicht vermutet. Auch dadurch, dass wir die obere Elektrode entsprechend nach aussen wölbten konnten wir das Problem nicht beheben.



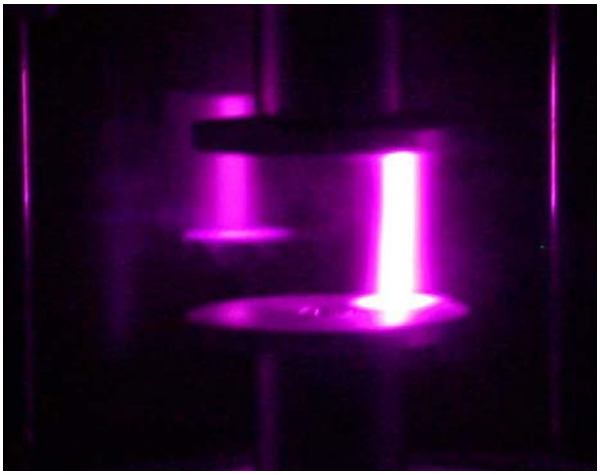


Abb. 6.7: Plasmaschlauch in unserer Kammer

Außerdem entstanden durch die schwierigere Bearbeitung minimale Unebenheiten an der Elektrode. Letztendlich kamen wir wieder zu den abgeflachten Elektroden zurück und vergrößerten sie zusätzlich noch um ein größeres Plasma zu erhalten. Um jetzt noch ein perfektes Plasma zu bekommen, mussten wir mit der Feldstärke und dem Druck experimentieren, da wir bisher meistens einen einzelnen Plasmaschlauch anstatt eines homogenen Feldes zwischen den Elektroden hatten. Dies konnten wir zum Teil dadurch beheben, dass wir die Feldstärke verringerten, indem wir die Induktivität der Spule veränderten.

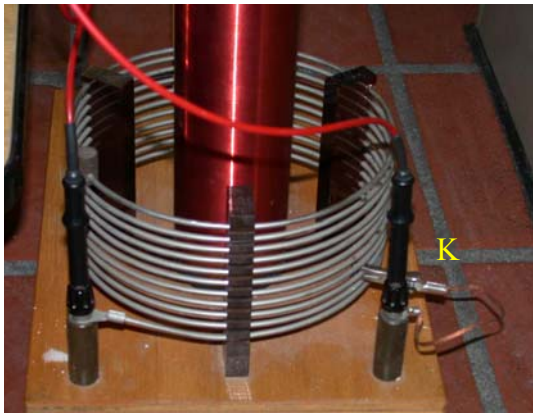


Abb. 6.8: Einstellung der Induktivität der Spule mittels der Krokodilklemme (K).

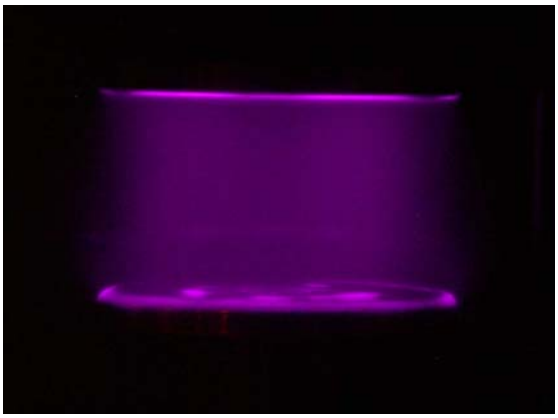


Abb. 6.9: Homogenes Plasma zwischen den beiden Elektroden.

Eine weitere Möglichkeit um unser Plasma zu verbessern war die Senkung des Drucks. Dies gestaltete sich allerdings ungleich schwieriger, da wir jetzt schon Probleme hatten unsere Kammer ausreichend abzudichten und den Unterdruck zu halten. Als uns dies trotz aller Schwierigkeiten gelungen war und wir anstelle des großen Teslatrafos einen kleinen verwendeten, gelang es uns, ein gutes Plasma zu erzeugen (Abb. 6.9).

6.4 Die Einbringung von Stäuben

Jetzt brauchten wir nur noch eine Möglichkeit um die Mikropartikel in unser Plasma einzubringen und schon konnten wir mit unseren Versuchen zu den Plasmakristallen anfangen. Aber auch hier stellten sich uns einige Schwierigkeiten in den Weg.
Mit welchem Mechanismus lassen sich in einer geschlossenen Kammer kleine Partikel fein dosiert und gezielt in den Raum zwischen den Elektroden einbringen? Am besten eignete sich hierfür ein kleiner Lautsprecher, da dessen Membran den Partikeln den notwendigen Impuls geben kann. Die Dosierung der Partikel wollten wir über die Lautstärke, die Frequenz und über eine Lochscheibe regeln, die vor dem Lautsprecher angebracht wurde. An der Luft funktionierte diese Apparatur auch sehr gut.

Abb. 6.10: Staubausstoß unter „normalem“ Luftdruck

Nach dem Evakuieren der Plasmakammer verließen jedoch nur wenige Mikropartikel unsere Vorrichtung. Zuerst glaubten wir an eine Störung durch das hochfrequente Feld des Teslatrafos, weil dieses die Membran am Schwingen hindern könnte. Diese Vermutung erwies sich jedoch als falsch, denn auch bei ausgeschaltetem Teslatrafo flog kaum Staub. Nach langem Überlegen erkannten wir, dass beim Schwingen der Membran nur die direkt anliegenden Partikel einen Impuls erhielten. Im Lautsprecher fehlte einfach die Luft zur Impulsübertragung. Wir brauchten also einen Mechanismus, der den Partikeln auch im Vakuum den nötigen Impuls gibt um unser Plasma zu erreichen. Nach zahlreichen Experimenten probierten wir es mit Zeolith-Kügelchen (Abb. 6.11), die wir zusammen mit dem Staub in unsere Membrandose einbrachten. Auf Anhieb funktionierte nun das Ausbringen von Stäuben.

Abb. 6.11: Mikropartikel und Zeolith-Kugel

Abb. 6.12: Elektrode mit Mikropartikeln

Die Ansteuerung des Lautsprechers war auch nicht so unproblematisch wie wir es erhofft hatten. Um keine undichten Stellen an unserer Plasmakammer zu erhalten, versuchten wir zunächst die Spule des

Lautsprechers von außen zum Schwingen anzuregen. Dies war allerdings bei den meisten Lautsprechern nicht oder nur mit hohen Feldstärken möglich. Da wir Bedenken hatten, dass dieses starke Feld unser Plasma beeinflussen könnte, verwarfen wir diese Idee. Letztendlich beschlossen wir, die Boden- und Deckenplatte unserer Kammer als Kontakte zu verwenden, da die Elektroden ja, wie oben erwähnt, von diesen isoliert waren. Doch auch diese Lösung erwies sich nicht als sinnvoll, da nun ein Strom über die Kunststoffisolierung hinweg durch den Lautsprecher von der Boden- in die Deckenplatte floss (Abb. 6.13).

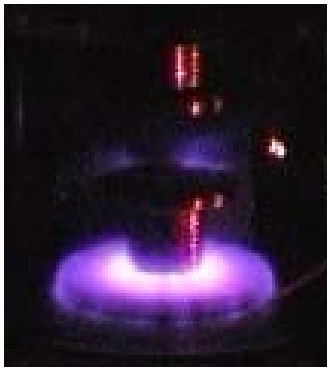


Abb. 6.13: Feldstörung durch die Lautsprecheranschlüsse

Um dies zu verhindern tauschten wir die Aluminiumplatten gegen Plexiglasplatten aus.

6.5 Die Beleuchtung der Plasmakristalle

Bei unserem ersten Versuch, Staub in das Plasma zu bekommen, enttäuschte uns die mangelhafte visuelle Wahrnehmung der Mikropartikel. Sie wurden vom Plasmalicht einfach überstrahlt. Um sie sichtbar zu machen, müssen die Partikel von einer externen Lichtquelle angestrahlt werden. Normale Lichtquellen waren dafür ungeeignet. Deshalb verwendeten wir einen Laser (Laserwasserwaage aus dem Baumarkt). Den Strahl weiteten wir mit einer Zylinderlinse auf um das ganze Plasmakristall sichtbar zu machen. Zuerst hielten wir vor unseren Laser ein mit Wasser gefülltes Reagenzglas. Später fertigten wir auf der Drehbank eine Messinghülse, in die wir einen kleinen Glaszylinder einpressten. Diesen Aufsatz konnten wir drehbar an unserer Laserwaage befestigen. Damit war das Beleuchtungsproblem gelöst.

Abb. 6.14: Unser Laser mit Aufsatz zur Beleuchtung

7 Der „Dustdropper“

Nun hatten wir alle beschriebenen Probleme gelöst und trotzdem gelang es uns nicht ein Plasmakristall zu erzeugen. Als letzter Grund hierfür fiel uns ein, dass der von uns verwendete Staub hierzu vielleicht nicht geeignet war. Wir untersuchten den Staub unter dem Mikroskop. Unser Staub bestand aus unregelmäßigen, relativ großen Bruchstücken. Abbildung 7.1 zeigt die größten unserer Staubpartikel. Die Profis verwenden jedoch Mikropartikel, die kugelrund sind und einen Durchmesser von nur 9,5µm besitzen (Abb. 7.2).

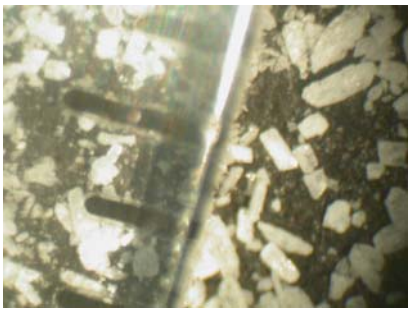


Abb. 7.1: Unser „Staub“. Die Skala ist in 1mm Abschnitte eingeteilt. Außerdem ist die Form unserer Körner nicht sehr vorteilhaft.

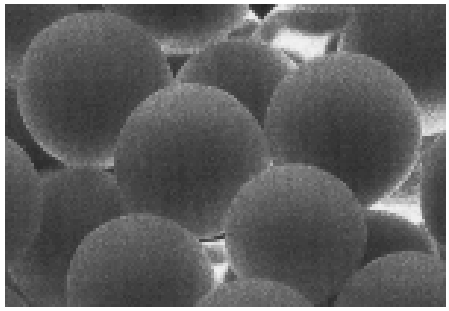


Abb. 7.2: Mikropartikel des Kieler Forschungsteams: 9,5 µm groß und perfekt rund.

Wir fragten Hr. Prof. Dr. Alexander Piel von der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel wo man solche Stäube kaufen kann. Als wir hörten, dass 3 Gramm dieses Staubes € 250 kosten sollten waren wir doch etwas erschrocken. Freundlicherweise bot Hr. Prof. Dr. Piel an, uns preiswertere Mikropartikel von 20µm Durchmesser zu schicken.

Als uns die versprochene Probe ein paar Tage später erreichte, machte uns die geringe Menge ein wenig stutzig. Hätten wir unseren Lautsprecher nur einmal befüllt und in Betrieb genommen, wäre die gesamte Probe in unserer Plasmakammer verteilt gewesen. Uns wurde klar, dass wir zur Bildung eines Kristalls viel weniger Staub benötigen, als wir anfänglich vermutet hatten. Wir mussten uns also eine Möglichkeit überlegen, wenige Mikropartikel gezielt in unser Plasma einzubringen. Hierzu bauten wir uns einen „Dustdropper“. Dies ist ein herkömmlicher, an einem Ende zugeklebter Strohhalm, der an der oberen Elektrode befestigt wird. Durch ein kleines Loch fallen wenige Partikel in unser Plasma, wenn man auf den Deckel der Kammer klopft.

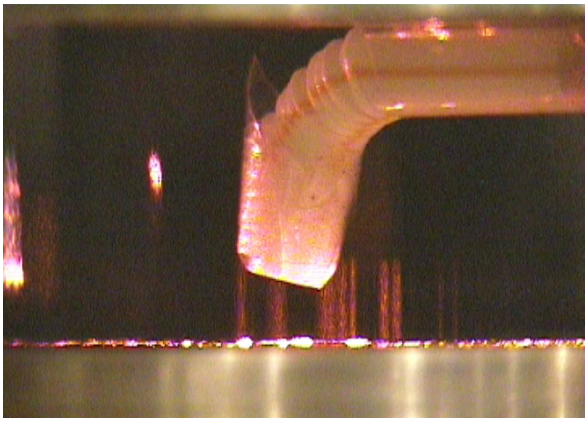


Abb. 7.3: Der „Dustdropper“ klebt an der oberen Elektrode

8 Ein Besuch an der Universität zu Kiel

Wir waren nun der Überzeugung, dass wir mit unserer jetzigen Kammer ein Plasmakristall bekommen müssten, aber leider blieb der Erfolg, aus uns unerklärlichen Gründen, aus. Netterweise bot Herr Prof. Dr. Piel uns an, ihn in Kiel besuchen zu kommen und vor Ort die Experimente zur Plasmaphysik der Universität zu besichtigen. Nachdem wir die Frage der Finanzierung klären konnten, sind wir kurzerhand nach Kiel gefahren. Dort bekamen wir einen Einblick in die aktuelle Forschung an der Christian-Albrechts-Universität. Da es auf dem Gebiet der Plasmakristalle kaum Literatur gibt, waren wir sehr froh, in Kiel Antworten auf unserer Fragen zu bekommen.

So stellte sich schnell heraus, dass unsere selbst gebaute Kammer zwar voll funktionsfähig ist, aber unser kleiner Teslatrafo aufgrund seiner geringen Leistung kein Plasma erzeugen kann, in dem sich ein genügend großer Dunkelraum ausbildet. Nur an der Grenzschicht zwischen Dunkelraum und Plasma können die negativ aufgeladenen Mikropartikel schweben.

9 Dunkelraum und Plasmakristalle

Wir versuchten nun nochmals mittels unseres zuerst verwendeten leistungsstarken Teslatrafos ein geeignetes Plasma zu zünden. Da bei den vorherigen Versuchen die Spannung viel zu hoch war, verringerten wir die Windungszahl der Endspule. Bei etwas längerem Betrieb wurde die Sekundärspule des Vortrafos aber so heiß, dass die Isolation zu schmelzen drohte.

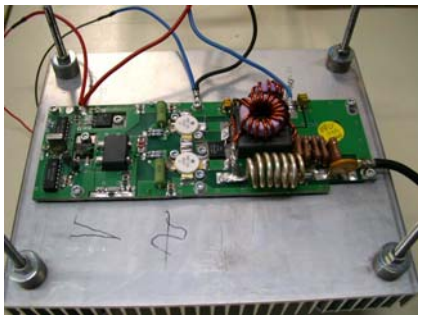


Abb. 9.1: 13,56 MHz-Sender

Die Anschaffung eines Hochfrequenzgenerators war also unbedingt notwendig, aber mit unseren geringen finanziellen Mitteln nicht möglich. Freundlicherweise lieh uns die RWTH Aachen einen Prototypen. Dieser war allerdings nicht auf unsere Plasmakammer abgestimmt. Nach längerem Probieren konnten wir jedoch die Impedanz unser Plasmakammer mittels zweier Spule so verändern, dass das Plasma zündete und sich ein gut sichtbarer Dunkelraum ausbildete. Nur wenige Tage später konnten wir unser erstes Plasmakristall aus Microspheres-Staub erzeugen (Abb. 9.3).

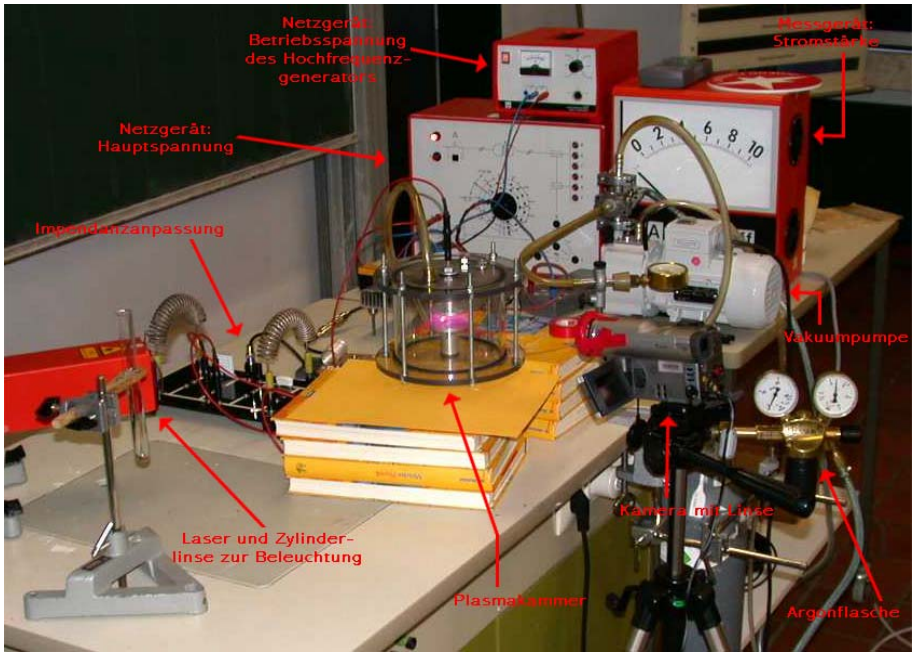


Abb. 9.2: Der ganze Versuchsaufbau

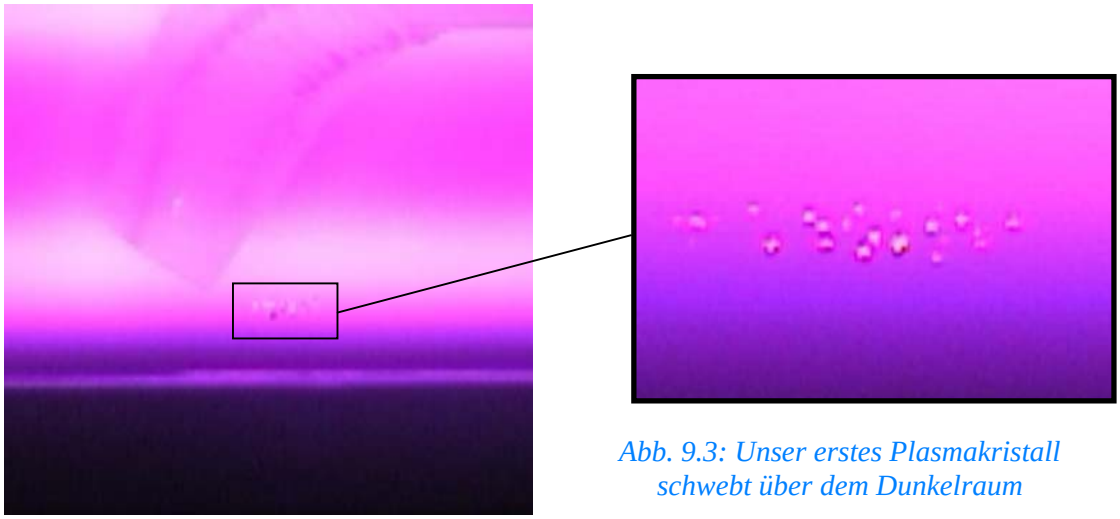


Abb. 9.3: Unser erstes Plasmakristall schwebt über dem Dunkelraum

Aber wie vermutet, stießen sich die gleich geladenen Mikropartikel gegenseitig ab und es drifteten immer wieder Mikropartikel von der Elektrode. Mittels eines einfachen Metallrings, den wir auf die untere Elektrode legten, krümmten wir die Äquipotenziallinien, so dass auch größere Kristalle auf der Elektrode gehalten werden können.

Da uns nur eine begrenzte Menge an Microspheres-Partikeln zur Verfügung stand, suchten wir nach preiswerten Alternativen. Toner aus Patronen für Laserdrucker erwies sich als ebenfalls geeignet (Abb. 9.4).
Ganz stolz waren wir, als wir aus preiswerten Bärlappsporen unser erstes organisches Plasmakristall herstellten (Abb. 9.5).

Abb. 9.4: Ein Plasmakristall aus dem Toner eines Laserdruckers

Abb. 9.5: Ein Plasmakristall aus Bärlappsporen

10 Aufnahmen mit der Lochelektrode

Um die kristalline Anordnung unserer Staubpartikel besser beobachten zu können, experimentierten wir mit einer neuen Elektrode, in die wir mittig ein Loch bohrten. Durch dieses Loch wollten wir den Plasmakristall filmen. Das Drahtgitter, welches wir zuerst verwendeten, war aber nicht stabil genug und zusätzlich wurde die Kapazität unserer Kammer durch die neue Elektrode so verändert, dass wir kaum brauchbaren Plasmen gezündet bekamen. Dieses Problem lösten wir, indem wir wieder eine Elektrode aus Aluminium verwendeten. Hierbei überlegten wir uns, dass die Kapazität der Kammer in etwa gleich bleiben müsste, wenn wir die Fläche der Elektrode nicht verändern würden. So vergrößerten wir diese um die Fläche des Loches.
Mit unserer neuen Kammer schafften wir es jetzt gute Aufnahmen unserer Plasmakristalle zu machen (siehe Abb. 10.2). Man erkennt deutlich die hexagonale Struktur der Teilchenanordnung. Damit haben wir den Beweis erbracht, dass wir Plasmakristalle mit einfachen Mitteln erzeugen können.

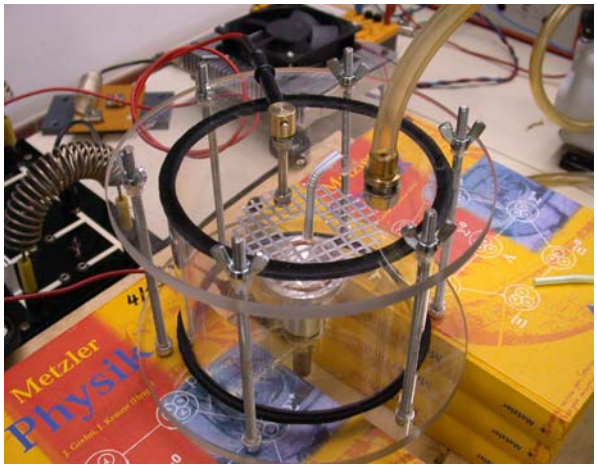


Abb. 10.1: Unsere Plasmakammer mit Lochelektrode

Abb. 10.2: Plasmakristall aus Xerox-Druckertoner

11 Linkliste

1. Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik in Garching
(http://www.mpe.mpg.de/www_th/plasma-crystal/)

2. Christian-Albrechts-Universität in Kiel
(http://www.ieap.uni-kiel.de/plasma/ag-piel/)

3. Sandia National Laboratories
(http://www.sandia.gov/1100/x1118pchome.htm)