

Offenes Experimentieren mit der Plasmakugel – eine explorative Einführung in die Plasmaphysik

Stefan Uhlmann, Nina Wienemann, Burkhard Priemer

Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Physik und Astronomie,
Universitätsstraße 150, 44801 Bochum

Kurzfassung

Wie kann man grundlegende Inhalte der Plasmaphysik in der Schule thematisieren? Aufbauend auf dieser Frage werden im Beitrag Einführungsexperimente in das Feld der Plasmaphysik vorgestellt. Im Mittelpunkt stehen Versuche mit einer handelsüblichen (kostengünstigen) Plasmakugel sowie einfacher Haushalts- und Laborgegenstände (wie z. B. Leuchtstoffröhren, Energiesparlampen, Glimmlampen, Kabel, Metallplatten...). Ziel des Beitrages ist es, die Plasmakugel als Hauptbestandteil einer offenen Lernumgebung vorzustellen und einige der beobachtbaren Phänomene und durchführbaren Experimente darzustellen, zu erklären und didaktisch zu bewerten. Das Spektrum reicht vom Beobachten ästhetischer Gasentladungen innerhalb der Plasmakugel über das Riechen von Ozon an der Plasmakugeloberfläche bis hin zum Spüren von kleinen „Stromschlägen“ an leitenden Gegenständen. Ergänzt werden die Ausführungen durch Ergebnisse von Erprobungen mit Schülerinnen und Schülern.

1. Einleitung

Das Wort Plasmaphysik wird selten in der Schule verwendet. Dennoch sind Themen und Arbeitsweisen der Plasmaphysik Bestandteil vieler Lehrpläne und somit auch des Unterrichts. Als Beispiele seien hier Atommodelle, atomare Anregungen, Atompektren, Aggregatzustände, elektrische Felder sowie die Spektroskopie genannt. Darüber hinaus bieten Plasmen Kontexte aus der Lebenswelt der Schülerinnen und Schüler. Plasmen kommen sowohl in der Natur als auch in der Technik häufig vor. Flammen, Blitze, Polarlichter (Aurora borealis bzw. australis, Abb.: 1), unsere Sonne sowie andere Sterne usw. sind natürlich entstandene Plasmen. In der Technik verwendet man künstliche Plasmen beispielsweise zum Ätzen, Schweißen, Beschichten, Reinigen, Trennen, Fügen und Härten von Materialien.

Wie man sich mittels einer offenen Exploration Themen der Plasmaphysik nähern kann, soll in diesem Beitrag exemplarisch durch den Einsatz einer handelsüblichen Plasmakugel gezeigt werden. Plasmakugeln eignen sich u. E. gut für den Unterrichtseinsatz, da sie a) sehr preiswert sind (low-cost-Experimente), b) für Schülerinnen und Schüler faszinierend, da ästhetisch schön sowie interessant sind und c) die Möglichkeit bieten, Plasmen zu untersuchen. Dass sich offene Experimentierumgebungen für dieses Thema eignen, zeigte sich bei den Erprobungen beispielsweise darin, dass die Beobachtungen der Schülerinnen und Schüler weit über das bloße Anfassen und „schöne Blitze sehen“ hinaus gingen und eine Vielzahl von wesentlich komplexeren Erscheinungen beschrieben wurden. Das Spektrum der von den Schülerinnen und Schülern beobachtbaren Phänomene an einer Plasmakugel sollte bei einer Exploration zunächst nicht eingeschränkt

werden (beispielsweise durch geschlossene Aufgabenstellungen), da u. E. nicht viele Alltagsgegenstände solch eine vielfältige Möglichkeit für Beobachtungen bieten.



Abbildung 1: Polarlichter (aus [4]).

2. Die Plasmakugel

In der Physik bezeichnet man ein Plasma als so genannten vierten Aggregatzustand und beschreibt damit „eine makroskopische Ansammlung von geladenen und ungeladenen Teilchen, die nach außen hin elektrisch neutral ist und den elektrischen Strom leitet“ [1].

In einer edelgasgefüllten Plasmakugel wird ein Plasma – in Form von Blitzen – durch ein äußeres hochfrequentes elektrisches Wechselfeld gezündet

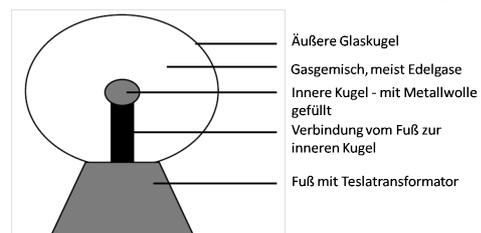


Abbildung 2: Der Aufbau einer Plasmakugel
(aus [8]).

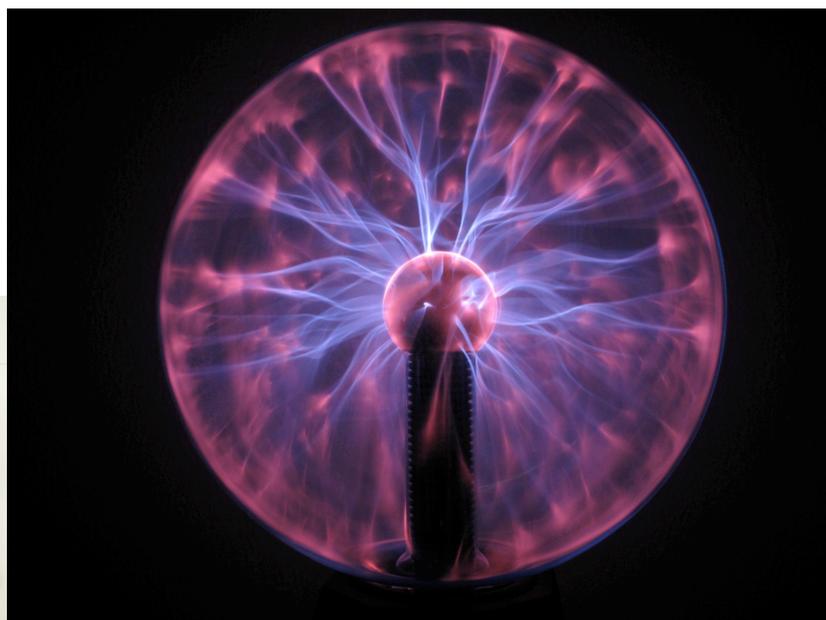


Abbildung 3 und 4: Die Plasmakugel.

(vgl. Abb. 2, 3 und 4). Dieses wird durch einen Tesla-Transformator erzeugt. Bei der Plasmakugel handelt es sich um eine Hochfrequenzgasentladungslampe. Sie wird mit einer Frequenz von ca. 37 kHz und einer Spannung von einigen kV betrieben. Nähere Informationen zur Funktionsweise der Plasmakugel findet man in [5] (eine weitere Publikation der Autoren ist in Vorbereitung).

3. Explorationsen mit der Plasmakugel

Die hier vorgestellte, offene explorative Lernumgebung, ist Hauptbestandteil eines Projektes im Alfred Krupp-Schülerlabor der Ruhr-Universität Bochum. Im Konzept der Autoren haben offen formulierte Aufgaben und Arbeitsanweisungen im Gegensatz zu geschlossenen Aufgaben einerseits keinen vorgeschriebenen Lösungsweg und andererseits u. U. keine definierbare eindeutige Lösung (vgl. [2]). Sie unterscheiden sich daher stark von Aufgaben mit fester (rezeptartiger) Anleitung zu einer eindeutigen Lösung. Konzipiert wurde das Projekt für die Jahrgangsstufen 10-12, ist aber u. E. mit geringen Modifikationen auch für jüngere Schülerinnen und Schüler sowie für den Schuleinsatz geeignet. Mit insgesamt über 100 teilnehmenden Schülerinnen und Schülern konnten die Autoren Erfahrungen mit dem Projekt in der Unterrichtspraxis sammeln.

Nach einer kurzen Einführung in Form einer Vorlesung über elementare Grundlagen der Plasmaphysik, explorieren die Schülerinnen und Schüler über einen Zeitraum von etwa 1-2 Stunden mit der Plasmakugel sowie weiteren Haushaltsgegenständen (Leuchtstoffröhre, Glimmlampe, Metallplatten, Kabel etc.). Ihre Hauptaufgabe in dieser Phase ist es, möglichst viele Phänomene, Erscheinungen bzw. allgemein Auffälligkeiten im Umgang mit der Plasmakugel und allen weiteren o.g. Gegenständen zu finden. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es zu diesem

Zeitpunkt zunächst um das Finden und nicht um das Erklären von Phänomenen geht. In Anlehnung an den, nach Meinung der Autoren, oft zu wenig thematisierten Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung, liegt der Schwerpunkt dieser Phase im detaillierten Beobachten und Beschreiben.

Die Schülerinnen und Schüler haben während der offenen Exploration eine Vielzahl von Phänomenen beobachtet und beschrieben (vgl. Tab. 1, vollständige Tabelle in [6]). Das Spektrum reicht von detaillierten Beschreibungen von ästhetischen Gasentladungen über das Riechen von Ozon, das Entzünden von Leuchtstoffröhren und Glimmlampen in der Nähe der Plasmakugel bis hin zum Spüren von kleinen elektrischen Schlägen. Die in der Tabelle 1 dargestellten Phänomene sind kategorisiert nach den verwendeten Gegenständen (z. B. Leuchtstoffröhre oder Hand) und sortiert nach der Häufigkeit der Nennungen der Schülerinnen und Schüler.

Die Schülerinnen und Schüler bewiesen bei der Explorationsphase sehr viel Fantasie und Neugierde. Unseres Erachtens hätten die Schülerinnen und Schüler in einer „traditionellen“ (nicht offenen bzw. nicht so geöffneten) Lernumgebung vermutlich weniger Phänomene entdeckt. Die offene Umgebung hat demnach offensichtlich den Vorteil, einen größeren Freiraum für gründliche physikalische Beobachtungen zu bieten. Den Autoren fiel des Weiteren auf, dass die Schülerinnen und Schüler bei ihrer Exploration oftmals physikalisch nicht triviale Phänomene gefunden und Fragestellungen aufgeworfen haben. Ferner zeigte sich, dass es die Schülerinnen und Schüler nicht gewohnt waren, mit reinen Beobachtungsaufgaben (ohne Erklärungsansätze) zu arbeiten. Adhoc-Erklärungen wurden immer wieder in die Beobachtungen eingebracht. Des Weiteren war auffällig, dass sie trotz des langen Zeitraums mit viel Spaß und Ausdauer an der offenen Aufgabe arbeiteten.

ten. Diese Erfahrungen decken sich mit denen in anderen offenen Experimentierumgebungen (vgl. [2]).

Tabelle 1: Die häufigsten Beobachtungen der Schülerinnen und Schüler (Auszug aus [6]).

Gegenstand/ Zustand	Beobachtungen
plasma sphere in normal condition	<ul style="list-style-type: none"> - lots of streamers - streamers are pink-blue-pink - move around fast - object/ human approaches: streamers change direction and speed - the bigger the area of touching the bigger the streamer - only reaction to conducting objects - circulation (light up at bottom, vanish at top) - turns red when touched
touched by finger	<ul style="list-style-type: none"> - only blue streamer? - two fingers: connected by streamer - development of heat - still smaller streamers there, but less than before - streamers headed towards finger - weak prickle/ tingle - streamer jumps between these two fingers - smells like chlorine/ ozone/ solarium - finger smells burned - vibrations - very quiet buzz & whir (as if gas is escaping) - when touching, buzz gets louder - streamer follows finger - sound of electricity - bigger streamer
touched by hand	<ul style="list-style-type: none"> - only one big streamer left - number of streamers decreases - development of heat - streamer concentrated on hand - several streamers become one - shrill, high, but gentle tone - vibration - streamer moves around palm of hand - gets louder, when touched - two hands: streamer goes to palm which takes up greatest area
fluorescent lamp	<ul style="list-style-type: none"> - lights up at a distance of about 10 cm - it only lights up to where it is touched by human - closer to lamp = brighter - also lights up, if it is touching the sphere - cable of sphere touching it: lights up - streamer headed towards it - with hand on sphere: even brighter - with hand on sphere, it stops shining
glow lamp	<ul style="list-style-type: none"> - starts to glow at a distance of about 10 cm - glows brighter if closer to sphere - if touched by cable of sphere: glows - streamer headed towards it - does not matter if it touches sphere with sides or metal cap, always glows - also glows if touching sphere directly - connected to sphere by cable: lights up
ring	<ul style="list-style-type: none"> - if ring lays on sphere and human touches it, he or she gets an electric shock - prickle - sound is higher and louder - finger with ring creates bigger streamer
paper	<ul style="list-style-type: none"> - no reaction at all - if finger touches sphere through paper, reaction
metal key	<ul style="list-style-type: none"> - electric shock

	<ul style="list-style-type: none"> - lightning outside of sphere - vibration
cable	<ul style="list-style-type: none"> - lamp lights up if connected to sphere by cable, even if further away - electrical shock if cable is connected to sphere and human - if cable is laying on sphere, streamer is around it
two people touching	<ul style="list-style-type: none"> - electric shock, if both lay one hand on sphere and touch each other with the other hand

4. Kurze Erklärung einiger Phänomene

Im folgenden Abschnitt werden aus der Vielzahl der gefundenen Phänomene exemplarisch drei herausgegriffen und näher beleuchtet.

a) Das Anfassen der Plasmakugel mit Händen oder Fingern ist häufig das Erste, was Schülerinnen und Schüler ausprobieren. Plasmakugeln werden mit hohen Frequenzen (ca. 37 kHz) und hohen Betriebsspannungen (einige kV) betrieben. Dennoch verspürt man keinen elektrischen Schlag, wenn man die Plasmakugel berührt. Laut Fantz et al. (2002) kann man dieses Phänomen physikalisch durch den Skin-Effekt erklären [5]. Aufgrund der Hochfrequenz und der geringen Ströme sind die hohen Spannungen für den Menschen ungefährlich. Der Skin-Effekt ist ein Effekt in von hochfrequenten Wechselströmen durchflossenen Leitern (in diesem Fall der Mensch). Die Stromdichte im Inneren des Leiters ist geringer als die an der Oberfläche. Demnach ist die Eindringtiefe sehr gering, die Ströme werden an der Oberfläche der Haut abgeleitet.



Abbildung 3: Schülerin beim Experimentieren mit der Plasmakugel.

b) Das Heranführen einer Leuchtstoffröhre an eine Plasmakugel bewirkt das Zünden des Füllgases (meist Quecksilberdampf) der Röhre. Physikalisch ist dies zurückzuführen auf das gleiche Prinzip, welches auch für das Zünden des Gases in der Plasmakugel verantwortlich ist: die Stoßionisation in Gasentladungslampen. Das in der Plasmakugel durch den Teslatransformator generierte kugelsymmetrische Wechselfeld wirkt nicht nur auf das Gas innerhalb der Kugel, sondern auch auf Gase (in Unterdruck) in der näheren Umgebung der Kugel. Das Gas in der Leuchtstoffröhre wird durch das elektrische Feld in den Plasmazustand überführt. Analoges gilt auch für das Heranführen einer

Glimmlampe an die Plasmakugel. Weitere Informationen zum Zündvorgang in Plasmakugeln in [5].



Abbildung 4: Schülerin beim freien Explorieren mit der Plasmakugel und einer Leuchtstoffröhre.

c) Das letzte hier vorgestellte Phänomen bezieht sich auf das Entstehen von Ozon in der Umgebung der Plasmakugel. In hohen Konzentrationen (über $40\mu\text{g}/\text{m}^3$) nimmt der Mensch Ozon als charakteristisch stechend-scharfen bis chlorähnlichen Geruch wahr. Außerhalb der Plasmakugel kann Ozon aus dem Trennen von Sauerstoffmolekülen und dem Verbinden von den daraus entstandenen Sauerstoffatomen mit anderen Sauerstoffmolekülen entstehen. Die zum Trennen von in der Luft vorhandenen Sauerstoffmolekülen in einzelne Sauerstoffatome benötigte Energie wird durch das vom Teslatransformator generierte elektrische Feld bereitgestellt. Einzelne Sauerstoffatome (Radikale) sind sehr reaktionsfreudig und verbinden sich mit hoher Wahrscheinlichkeit mit anderen Sauerstoffmolekülen. Es entsteht Ozon (aktiver Sauerstoff).

5. Fazit

Das Ziel der hier vorgestellten offenen Lernumgebung ist es, den Schülerinnen und Schülern exemplarisch die Möglichkeit zu geben, physikalische Phänomene, hier im Zusammenhang mit der Plasmakugel, zu entdecken, zu beobachten und zu beschreiben. Mit diesem Ziel wird auf den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung insofern eingegangen, als dass in ihm gefordert wird, dass die Schülerinnen und Schüler „Fachmethoden der Physik nutzen“ [3] sollen. Unseres Erachtens ist eine wesentliche Methode im Fach Physik, erklärungsfrei zu beobachten und diese Beobachtungen zu beschreiben. Die Autoren vermuten, dass das im Kernlehrplan [7] geforderte Beobachten und Beschreiben von physikalischen Sachverhalten noch nicht ausreichend in der Unterrichtspraxis verwirklicht ist.

Der Einsatz von Plasmakugeln zur Einführung in die Plasmaphysik hat sich als wirkungsvoll gezeigt, da sich bei Erprobungen des Projektes herausgestellt hat, dass sich die offene Lernumgebung positiv auf das kreative und fantasievolle Explorieren der Schülerinnen und Schüler auswirkt. Die gefundenen Phänomene und Erscheinungen sind bemerkenswert vielfältig, komplex und weisen ein großes Spektrum auf. Des Weiteren wurde festgestellt, dass die Projektteilnehmer physikalisch anspruchsvolle Phänomene entdeckten und komplexe Fragestellungen entwickelten.

Es hat sich gezeigt, dass den Schülerinnen und Schülern durch die Verwendung einer Plasmakugel die Möglichkeit gegeben wird, moderne Themen der Physik mithilfe eines Alltagsgegenstands kennenzulernen. Der Begriff der Plasmen spielt in der physikalischen Forschung eine immer größere Rolle (z. B. in der Oberflächenphysik, Nanophysik, Astronomie). Aus diesem Grund ist es sinnvoll, ihn alltagsbezogen in den Physikunterricht einzuführen. Über die Einführung in die Plasmaphysik hinaus sind auch weiterführende Experimente mithilfe der Plasmakugel denkbar (vgl. [9] auf dieser CD), sodass die Verwendung von Plasmen im Schulunterricht keine einmalige Angelegenheit bleiben muss.

Allerdings fiel auch auf, dass die Schülerinnen und Schüler es nicht gewohnt waren, frei von Erklärungen zu arbeiten, also reine Beobachtungen durchzuführen und im Detail zu beschreiben. Diesem Defizit kann man durch den Einsatz von Plasmakugeln in offenen Lernumgebungen begegnen.

Die hier vorgestellte offene Lernumgebung wurde zwar an einem außerschulischen Lernort entwickelt und erprobt, ist aber u. E. problemlos auf den Schulunterricht übertragbar. Nicht zuletzt deshalb, da zum großen Teil (low cost) Alltagsgegenstände verwendet werden (detailliertere Informationen über den Verlauf des Projektes sowie über weiterführende Experimente mit der Plasmakugel in [6] und [9]).

6. Literatur

- [1] Kleinermanns, K. (Hrsg.) (2006). *Bergmann Schäfer Lehrbuch der Experimentalphysik (Bd. 5)*. Berlin: Walter de Gruyter.
- [2] Priemer, B. (2006). [Open Ended Experiments about Wind Energy](#). In E. v. d. Berg, D. v. d. Berg & T. Ellermeijer (Eds.). Group International de Recherche sur l'Enseignement de la Physique (GIREP), Confernece 2006 "Modeling in Physics and Physics Education", Amsterdam, Book of Abstracts (p. 77). Ljubljana: GIREP.
- [3] KMK (2005). *Bildungsstandards für den mittleren Schulabschluss*. München: Kluwer Verlag.
- [4] www.wikipedia.de (April 2009)
- [5] Fantz U. & Lotter A. (2002). *Blitze zum Anfassen. Physik in unserer Zeit*, 33, 16-19.
- [6] Wienemann, N. (2009). unveröffentlichte Masterarbeit: „*Bilingualer Unterricht an außerschulischen Lernorten*“ Ruhr-Universität Bochum, Didaktik der Physik und Englischs Seminar.
- [7] Ministerium für Schule und Weiterbildung des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.) (2008). *Kernlehrplan für das Gymnasium - Sekundarstufe I in Nordrhein-Westfalen*. Frechen: Ritterbach Verlag
- [8] Bisping, V. (2009). unveröffentlichte Bachelorarbeit: „*Spektroskopie von Plasmakugeln (Arbeitstitel)*“ Ruhr-Universität Bochum, Didaktik der Physik.
- [9] Uhlmann, St. & Priemer, B. (2010). *Spektroskopieversuche mit der Plasmakugel*. In: Nordmeier, V.; Oberländer, A. (Hrsg.): *Didaktik der Physik - Bochum 2009*. Berlin: Lehmanns Media.