

Implementierung eines Ionenwindlautsprechers ohne Plasmaflamme

Sebastian Merchel, Lukas Creutzburg,
 Andreas Schwock, Tim Fleck und M. Ercan Altinsoy
 Technische Universität Dresden, Lehrstuhl für Akustik und Haptik,
 E-Mail: sebastian.merchel@tu-dresden.de

Einleitung

Dieser Beitrag beschreibt das Konzept und den Bau eines Lautsprecherprototypen ohne bewegte Bauteile. Es handelt sich dabei nicht um den weit verbreiteten Ansatz auf Basis einer modulierten Plasmaflamme durch thermische Ausdehnung eine Schallwelle zu erzeugen. Das im folgende diskutierte Antriebsprinzip beruht auf einer grundsätzlich anderen Idee - der Modulation eines Ionenwindes. Dieser Wind kann beispielsweise durch eine hohe Spannung erzeugt werden welche zwischen einer scharfkantigen und einer abgerundeten Elektrode anliegt. An der kantigen Elektrode entsteht dabei eine hohe Feldstärke und es kommt zu Entladung durch Ionisation der Luft. Die Spannung muss dabei möglichst groß aber unter der Durchschlagspannung der Luft liegen damit keine Funkenüberschläge auftreten. Die ionisierten Luftmoleküle werden anschließend im elektrischen Feld beschleunigt, kollidieren mit anderen Molekülen und erzeugen so einen Luftstrom. Dieser kann durch eine Wechselspannung moduliert und zur Schallabstrahlung genutzt werden. Dazu wurden verschiedene Elektrodenanordnungen untersucht. Das Ergebnis des Projektes ist ein funktionsfähiger Prototyp über welchen ein Audiosignal wiedergeben werden kann.

Plasma- vs. Ionenwindlautsprecher

Verschiedene Ansätze existieren um einen Lautsprecher ohne konventionelle Membran zu implementieren. Prinzipieller Vorteil aller Systeme ist die extrem geringe zu beschleunigende Masse und das damit einhergehende gute Impulsverhalten. Im Gegensatz zu Schallwandlern mit Membranen existiert so gut wie keine Massenträgheit. Eigenschwingungen einer Kalotte, die Verzerrungen hervorrufen, werden ebenfalls vermieden. Als prinzipieller Nachteil ist die hohe elektrische Spannung und bei Erzeugung eines Plasmas auch die hohen Temperaturen zu nennen. Des Weiteren entstehen durch die starke Ionisierung Stickoxide die zusammen mit dem Luftsauerstoff Ozon bilden können.

Zunächst soll ein Überblick über die verschiedenen Methoden gegeben werden.

Die wohl bekannteste Methode ist der *Plasmahochtöner* (plasma tweeter, plasma arc) bei dem es zu Glimmentladung (glow discharge) kommt. Dabei wird eine Plasmaflamme zwischen zwei Elektroden erzeugt. Eine hohe Spannung im niederen kV-Bereich ist notwendig. Durch Modulation des Plasmas ändert sich die Größe der Flamme und die Temperatur der Luft in der unmittelbaren Umgebung. Die Luft dehnt sich dadurch aus und zieht sich zusammen so dass es zur Schallabstrahlung kommt. Eine Prinzipskizze ist in Abbildung 1 dargestellt. Erste Schallwandler dieses Typs auf

Basis von Kohlebogenlampen zur Straßenbeleuchtung (singing arc) gehen auf Simon und Duddell Ende des 19. Jahrhunderts zurück [1,2]. Zahlreiche Patente wurden seitdem angemeldet [3]. Einige Messgeräte (Ionophone [4]) und Audioprodukte entstanden ab den 50er Jahren, wovon die meisten heute nicht mehr erhältlich sind (z.B. DuKane Ionovac, Magnat MP, Hill Plasmatronik, ... [5]). Die wenigen aktuell verfügbaren kommerziellen „Ionenlautsprecher“ beruhen auf dem Prinzip des Plasmahochtöners (z.B. Corona Plasma Tweeter, Acapella ION TW 1S) [6,7]. Manchmal wird diese Art des Schallwandlers auch Teslahochtöner genannt, da eine Tesla-Resonanzspule zur Erzeugung der Hochspannung zum Einsatz kommen kann [8]. Viele Hobby-Projekte beruhen auf dem Prinzip des Plasmahochtöners.



Abbildung 1: Prinzipskizze eines klassischen Plasmahochtöners mit einer modulierten Plasmaflamme zwischen zwei Elektroden.

Eine grundsätzlich andere Methode beruht auf der Idee Ionen zu erzeugen, welche anschließend in einem elektrischen Feld beschleunigt werden und mit anderen Partikeln kollidieren. So entsteht ein *Ionenwind* (ion wind, corona wind). Das Phänomen ist seit langem bekannt und wird als Antrieb für sogenannte Lifter [9] oder als Ionentriebwerk in der Raumfahrt [10] genutzt. Durch Modulation der Feldstärke und damit des Ionenwinds lässt sich eine Schallwelle erzeugen. Diese Idee ist erstmalig in den Arbeiten von Tombs et al. [11,12] und Shirley [13] aus den 50er Jahren zu finden. Sie experimentierten mit verschiedenen Anordnungen bestehend aus spitzen Elektroden und koaxialen Ringen. Ein erster Lautsprecherprototyp mit einem Elektrodengitter wird vorgestellt.

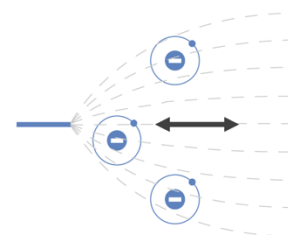


Abbildung 2: Prinzipskizze eines Ionenlautsprechers mit zwei Elektroden zur Modulation eines Ionenwindes.

In den 80er Jahren präsentiert Nelson Pass einen großflächigen Ionenwind-lautsprecher: das Ion Cloud Panel [14]. Zur Vermeidung von Ozonbildung schlägt Pass die Verwendung von Argongas vor. Bondar und Fourriere produzieren kurze Zeit später einen Kopfhörer mit Ionenantrieb unter dem Namen Plasmasonic Headphone [15,16]. Einige weitere Patente existieren in denen hauptsächlich verschiedene Elektrodenanordnungen beschrieben werden. Nur wenige aktuelle Projekte beschäftigen sich mit dem Prinzip des Ionenwind-lautsprechers [3,17,18].

Der in dem vorliegenden Beitrag verwendete Ansatz beruht auf dem Prinzip des modulierten Ionenwinds. Dazu muss zunächst ein Ionenwind erzeugt werden, der mit der abstrahlenden Frequenz seine Richtung ändert. Dieser Artikel diskutiert verschiedene grundlegende Elektrodenanordnungen und Funktionsprinzipien.

Ionenerzeugung

Voraussetzung für die Funktion des Lautsprechers ist das Vorhandensein eines Gases mit elektrisch geladenen Teilchen (Ionen). Dieses wird Plasma genannt. Da der Begriff bereits für den „Plasmahochtöner“ eingeführt wurde, wird er im Folgenden vermieden. Grundsätzlich können Ionen auf viele verschiedene Weisen erzeugt werden. Die Möglichkeiten reichen von radioaktiver Strahlung über chemische Verfahren bis zu elektrischen Verfahren.

In dieser Arbeit wird eine hohe elektrische Feldstärke erzeugt indem an eine spitze Elektrode eine hohe Spannung angelegt wird. Die resultierende hohe Feldstärke in der Nähe der Spitze führt zu einer Ionisation der Luft (Feldionisation). Ebenso können Elektronen aus der Elektrode gelöst und im elektrischen Feld beschleunigt werden (Feldemission). Durch Stoßionisation entstehen dann weitere Ionen. Eine solche Elektroden spitze mit einem Metallring als Gegenelektrode ist im linken Teil von Abbildung 3 dargestellt. Es kann an der Spitze zu einem Leuchten kommen, weshalb man auch von Koronaentladung spricht. Streamer bei zu hohen Feldstärken sind zu vermeiden, da durch einen Überschlag impulsartiger Schall entsteht.

Elektrodenanordnungen

Um zu verhindern, dass die hohe Spannung zur Erzeugung des Ionenwinds selbst geschaltet werden muss, wird zunächst die Ionenerzeugung und Ionenauslenkung getrennt vorgesehen. Hinter der in Abbildung 1 dargestellten Spitze-Ring-Apparatur wird eine kondensatorähnliche Anordnung angebracht. Das Konzept sieht vor, dass einige Ionen aufgrund der Trägheit durch den Ring hindurchfliegen und die Kondensatoranordnung durchqueren. An diese Kondensatorplatten wird jetzt eine Wechselspannung angelegt. Diese soll die Ionen ablenken und dadurch senkrecht zur ursprünglichen Ionenwindrichtung eine Schallwelle erzeugen. Damit sich diese ausbreiten kann, werden die Platten als Gitter implementiert. Versuche an einem Prototyp ergaben, dass die Ionenanzahl hinter der runden Gegenelektrode sehr gering ist da die Ionen durch die Anordnung selbst „abgesaugt“ werden.

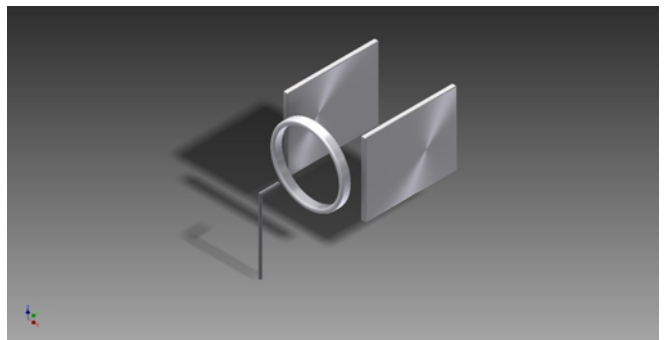


Abbildung 3: Elektrodenanordnung mit Spitze und Ring zur Ionenerzeugung und zwei Platten zur seitlichen Auslenkung (Modulation) des Ionenwinds.

Ein alternatives Konzept sieht eine Elektrode mit einer Doppelspitze vor, an der Hochspannung anliegt, und zwei Gegenelektroden, welche abwechselnd auf Masse geschaltet werden. Um einem akustischen Kurzschluss vorzubeugen und die Abstrahlung der Anordnung zu verbessern wird diese Anordnung in einem Rohr platziert. Dieser Aufbau ist in Abbildung 4 dargestellt. Das binäre pulsweitenmodulierte Umschalten der Anordnung entspricht der Funktionsweise eines Digitalverstärkers und setzt hohe Schaltfrequenzen sowie einen Rekonstruktionsfilter (Tiefpass) hinter der Anordnung voraus. Das Konzept soll in diesem Artikel nicht weiter beschrieben werden.

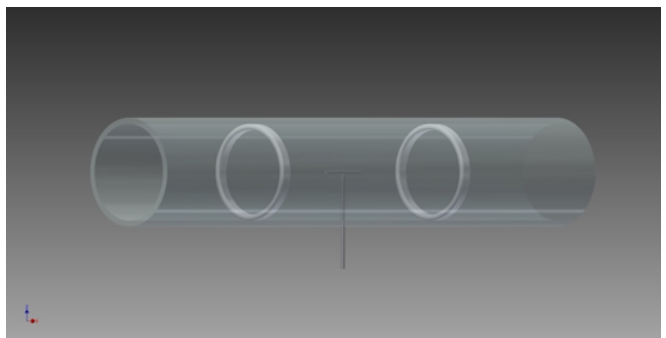


Abbildung 4: Elektrodenanordnung mit mittiger Doppelspitze und zwei Ringen zur Ionenerzeugung und gegenphasigen Auslenkung des Ionenwinds.

Es wird eine weitere Anordnung untersucht, welche aus einer halbrunden Elektrode mit einem dünnen Kupferdraht in der Mitte besteht (Abbildung 5).

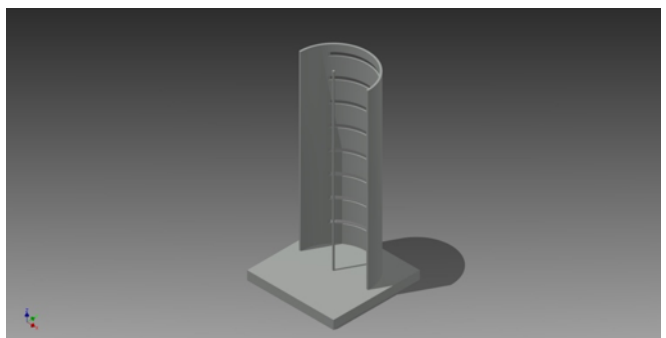


Abbildung 5: Elektrodenanordnung mit dünnem Draht und halbrunder Gegenelektrode.

Dies resultiert in einem deutlich homogeneren Feldverlauf verglichen mit den bisherigen spitzen Elektrodenanordnung. Die Spannung kann dadurch erhöht werden ohne das störende Teilentladungen entstehen. Ein Nachteil dieser Anordnung ist, dass in dem Bereich zwischen Anode und Kathode die Luft nur schwer strömen kann. Aus diesem Grund wurden Schlitze in das halbrunde Rohr gesägt. Dies sollte es der Luft ermöglichen besser durch das Kupferblech zu strömen und damit die akustische Abstrahlung verbessern.

Ansteuerung und erster Testlauf

Eine weitere Herausforderung ist die hohe Spannung, mit welcher zur Erzeugung des Ionenwindes gearbeitet werden muss. Das Hochspannungssignal wurde hier durch einen 6 kV Transformator mittels einer Einweggleichrichtung erzeugt und mit einer Röhre (6e15p-Tetrode) moduliert [20]. Die Anordnung nach Abbildung 5 gibt ein hörbares Signal wieder. Allerdings ist der Schalldruckpegel des abgestrahlten Signals sehr gering ist. Eine erste Messung des Frequenzganges des Systems zeigte einen maximalen Dynamikbereich von 30 dB.

Fazit und Ausblick

Für eine Verbesserung des Ionenwindlautsprechers ist der wichtigste Schritt eine Erhöhung des Schalldruckpegels. Dazu ist zunächst die Signalspannung zu erhöhen, welche zur Ansteuerung verwendet wird.

Der Einfluss der Elektrodenanordnung auf das Abstrahlverhalten ist ein offener Punkt mit vielen Freiheitsgraden. Eine Option ist die Anordnung mehrerer Elektroden nebeneinander. Ein weiterer interessanter Ansatz ist die getrennte Abstrahlung beider Halbwellen durch zwei gegenüberstehende Anordnungen. Dazu muss das verstärkte Audiosignal in zwei Halbwellen getrennt werden, die jeweils eine Röhre schalten.

Das Erzeugen von Schall mit Hilfe von Ionenwind ist ein sehr interessantes Konzept. Die geringe Masseträgheit und das Vermeiden von Membranresonanzen stellen wünschenswerte Eigenschaften dar. Auf Grund der hohen Spannungen und der sehr geringen Effizienz ist das Verfahren nach ersten Untersuchungen für den Lautsprecherbau noch nicht relevant. Der Aufbau ist durch die hohen Spannungen vergleichsweise gefährlich. Es besteht jedoch großes Optimierungspotential. Die Verwendung von alternativen Methoden zur Erzeugung von Ionen bei gleichzeitiger Neutralisation der Ladungsträger nach der Auslenkungseinheit könnte größere Fortschritte bringen.

Danksagung

Herzlichen Dank an Jun.-Prof. Dr.-Ing. Peter Birkholz für spannende und kreative Gespräche aus denen der Ansatz entstand das Lifter-Konzept auf Schallwandler zu übertragen.

Literatur

- [1] "Some Experiments on the Direct-Current Arc", Nature, Vol. 63, No. 1625, 1900
- [2] "Music in Electric Arcs - An English Physicist, with Shunt Circuit and Keyboard, Made Them Play Tunes", New York Times, April 28, 1901
- [3] Air Speaker Webseite, <http://airspeaker.co.uk> (Zugriff: 10.02.2017)
- [4] Plasmaweeter Webseite, <http://www.plasmaweeter.de> (Zugriff: 10.02.2017)
- [5] "The STL Ionophone sound source", STL-QPSR, Vol. 6, No. 2, 1965
- [6] Acapella Webseite, "ION TW 1S", http://www.acapella.de/de/hornlautsprecher/ionic_tweeter.php (Zugriff: 10.02.2017)
- [7] Lansch Audio Webseite, "Corona Plasmahochtöner" <http://www.lansche-audio.com/deutsch/lautsprecher/corona/> (Zugriff: 10.02.2017)
- [8] "Plasmahochtöner", Wikipedia, <http://de.wikipedia.org/wiki/Plasmahochtöner> (Zugriff: 10.02.2017)
- [9] "Lifter (Fluggerät)", Wikipedia, <http://de.wikipedia.org/wiki/Lifter> (Zugriff: 10.02.2017)
- [10] Leitenberger, B. "Elektrische Antriebe in der Raumfahrt", <http://www.bernd-leitenberger.de/elektrische-antriebe.shtml> (Zugriff: 10.02.2017)
- [11] Tombs, D. "Corona Wind Loud-speaker", Nature, Vol. 176, No. 4489, 1955
- [12] Tombs, D., Chatterton, E.J., Galpin, K. "Applications of Corona Effects", Electronics, Vol. 30, 1957
- [13] Shirley, G. "The Corona Wind Loudspeaker", Journal of the Audio Engineering Society, Vol. 5, No. 1, 1957
- [14] "The Ionic Man", Stereophile, 1980, Vol. 6, No.1
- [15] Bondar, H. „Ionic electro-acoustic transducer“, European Patent, EP 0065911, 1982
- [16] Fourriere, J.-C. „Electroacoustic Transducer“, European Patent, EP 0370846, 1990
- [17] "Ion wind loudspeaker experiments" <https://hackaday.io/project/7875-ion-wind-loudspeaker-experiments> (Zugriff: 10.02.2017)
- [18] "Electrified-Fluid-Mechanics" <http://tmms.co.jp/EFD/> (Zugriff: 10.02.2017)
- [20] Merchel S., Creutzburg L., Schwock A., Fleck T., Altinsoy M.E. "Konzept und Prototyp eines Ionenwindlautsprechers", Tonmeistertagung, Köln, Germany, 2016