

# Tonerzeugung mit Lichtbögen unter Verwendung von Magnetfeldern

Beitrag zum Elster-und-Geitel-Wettbewerb 2009

eingereicht von Jonathan Schilling und Jonathan Meier

## Inhalt

1. Einleitung
2. Vorstellung des Projekts
3. Prinzip der Tonerzeugung
4. Aufbau unseres Experimentes
5. Funktion unseres Aufbaus
6. Wissenschaftliche Beschreibung mit Formeln
7. Weitere Bilder

# 1 Einleitung

Als ich, Jonathan Schilling, im Jahr 2003 in einem Experimentalvortrag von Prof. Eberhardt in der Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel einen "Singenden Lichtbogen" sah, war ich tief von dieser für mich neuen Möglichkeit der Tonerzeugung beeindruckt. Erst Jahre später, und zwar 2009 konnte ich diese Eindrücke aufgreifen. Über einen Freund namens Felix Kraus hörte ich von dem "Elster und Geitel"-Wettbewerb. Da ich bereits im Jahr 2008 einen Tesla-Transformator für die Elster-und Geitel-Ausstellung im Museum im Schloss Wolfenbüttel gebaut hatte, war ich sofort begeistert und fest entschlossen, am Wettbewerb teilzunehmen. Ich konnte einen Freund, Jonathan Meier, der ebenfalls an Elektrotechnik und Elektronik interessiert ist und ebenfalls den Experimentalvortrag gehört hatte, mit meiner Begeisterung anstecken, um mit ihm gemeinsam unser Experiment vorzubereiten. Wir trafen uns regelmäßig nach der Schule, um mit unserem Physiklehrer, Herrn Dr. Oliver Michele, die Versuche durchzuführen und eine theoretische Beschreibung für unsere Experimente zu suchen.

## 2 Vorstellung des Projekts

### 2.1 Grundidee

Unser Ziel war es, eine Apparatur zu bauen, welche durch elektromagnetische Signale einen Lichtbogen erzeugt, beeinflusst und dadurch Töne erzeugt. Ähnliche Geräte sind als Plasmahochtöner im Einsatz, die jedoch auf einem anderen als dem unsrigen Prinzip beruhen.

### 2.2 Schall und Schallwellen

Schallwellen sind Schwingungen der Luft, die wir mit unseren Ohren als Töne wahrnehmen können. Das Prinzip von herkömmlichen Lautsprechern basiert auf Bewegung der Luft, die durch eine Membran hervorgerufen wird. Die Membran wird von einer Magnetspule angetrieben, die sich beweglich in einem Magneten befindet. Dadurch wird abwechselnd eine Verdrängung der Luft (Erzeugung von Druck) bzw. Verdünnung der Luft (Erzeugung von Unterdruck) bewirkt, um Schallwellen auszusenden.

### 2.3 Umsetzung

Unser Ansatz ist es, die Lautsprechermembran durch ein Plasma zu ersetzen. Versuche haben allerdings gezeigt, dass eine Beeinflussung des Stromes, der durch das Plasma fließt, nur durch hohen Aufwand mit Geräten möglich ist, die uns nicht zur Verfügung standen. Dieses Prinzip ist das, das in Plasmahochtönern Verwendung findet. Deshalb haben wir nach einer anderen Möglichkeit gesucht.

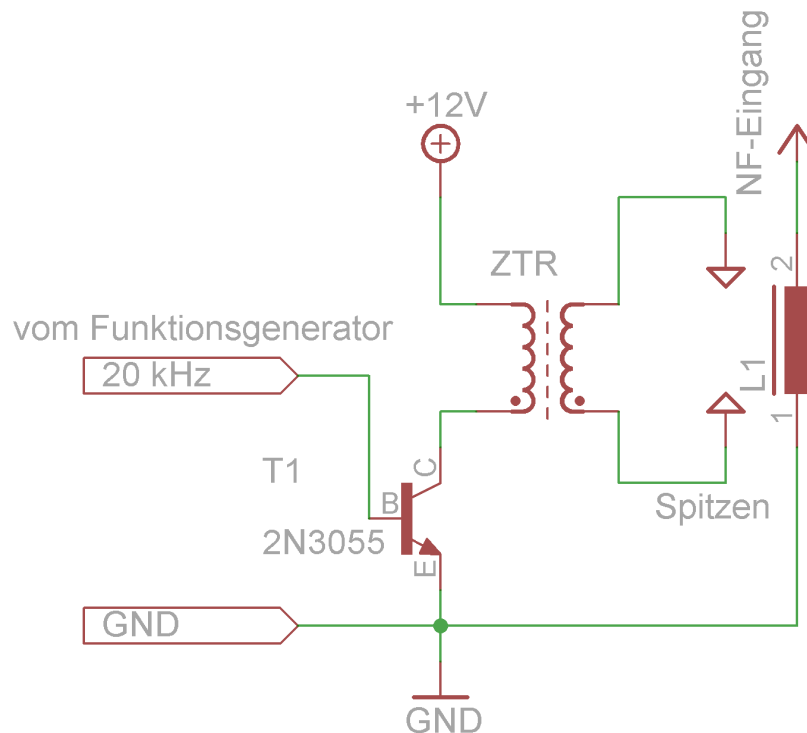
## 2.4 Vorversuche

Als Erstes wurden verschiedene Möglichkeiten, die im Internet vorgestellt wurden, ausprobiert und wieder verworfen, da sie auf Grund der eingeschränkten Experimentier- und Geldmittel nicht verwirklicht werden konnten. Die Schaltung von Prof. Eberhardt zu übernehmen, scheiterte an den in der Schule nicht vorhandenen 50A-Drehstromanschlüssen, die zum Betrieb der Anlage benötigt werden.

Daher mussten wir ein neues Konzept finden. Wir probierten verschiedene Schaltungen aus, jedoch ohne direkt zum Erfolg zu kommen.

Dann haben wir uns erinnert, dass ein Lichtbogen durch ein Magnetfeld beeinflusst werden kann. Zuerst haben wir mit Neodym-Magneten Versuche angestellt und beobachtet, dass der Lichtbogen flackerte. In einem darauf folgenden Versuch haben wir eine brauchbare Ablenkung des Lichtbogens durch ein Magnetfeld zwischen zwei Polschuhen erreicht. Dabei wurde eine Spule mit  $n=1000$  Wdg. auf den Kern gesteckt und die Polschuhe an den Schenkeln des Kerns festgeschraubt. Diese Idee behielten wir bei. Übrig blieb also nach langem Experimentieren nur das Konzept, bei dem ein Lichtbogen durch ein Magnetfeld zwischen zwei Polschuhen abgelenkt wurde. Der Lichtbogen wurde in Vorversuchen mit einem Transformator aus einer Leuchtreklame erzeugt. Eine Tonerzeugung war durch diesen Transformator wegen des störenden Netzbrummens allerdings nicht im gewünschten Frequenzbereich von 10-10000 Hz möglich.

Daraufhin haben wir folgende Schaltung aufgebaut:



L1	Magnetspule auf Hufeisenkern
ZTR	Zeilentransformator aus Fernseher für Hochspannungserzeugung
Spitzen	Funkenstrecke
T1	Treibertransistor für ZTR

Mit dieser Schaltung, bei der ein Zeilentransformator in Resonanz betrieben wird, um eine Hochspannung zu erzeugen, liegt die Frequenz der sekundären Wechselspannung bei  $\sim 20$  kHz und damit nicht mehr im (normalerweise) hörbaren Bereich.

### 3 Das Prinzip der Tonerzeugung

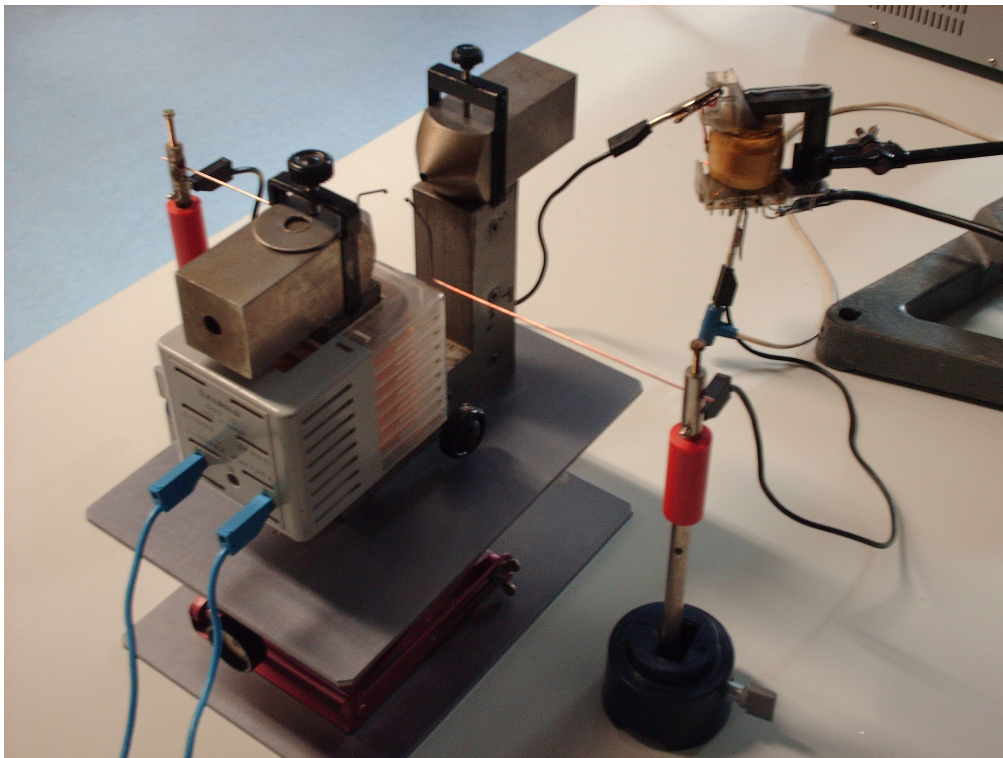
Da die Dichte der Luft bei unterschiedlichen Temperaturen nicht konstant ist, im Lichtbogen allerdings sehr hohe Temperaturen von bis zu  $1300^{\circ}\text{C}$  vorherrschen, kann durch eine Steuerung der Größe bzw. der Temperatur des Lichtbogens eine Volumenänderung erreicht werden, die in genügendem Ausmaße einen Ton erzeugen kann. Allerdings können wir in unserem Experiment nur die Position des Lichtbogens und nicht seine räumliche Ausdehnung (Durchmesser des Plasmas) verändern. Deshalb musste die Geschwindigkeit der Positionsänderung so hoch gewählt werden, dass durch die ständige Verdrängung (Erzeugung von Druck) bzw. Verdünnung (Erzeugung von Unterdruck) durch die Lichtbogenbewegung eine Bewegung der Luft auftritt, die ausreicht, um eine Schallwelle für einen hörbaren Ton zu erzeugen.

Die Positionsänderung können wir in unserem Experiment mit einem Magnetfeld erzeugen, das mit einem Elektromagneten durch zwei Polschuhe am Ort des Plasmas erzeugt wird. Wird durch den Elektromagneten ein Wechselstrom geschickt, so flackert der Lichtbogen mit der Frequenz des Wechselstroms im Magneten.

### 4 Der Aufbau unseres Experimentes

Im Bild ist der Aufbau unseres Experimentes gezeigt.

Im hinteren Teil ist der Hochspannungstransformator gezeigt. Die Lichtbogenstrecke befindet sich zwischen den Polschuhen des Elektromagneten.

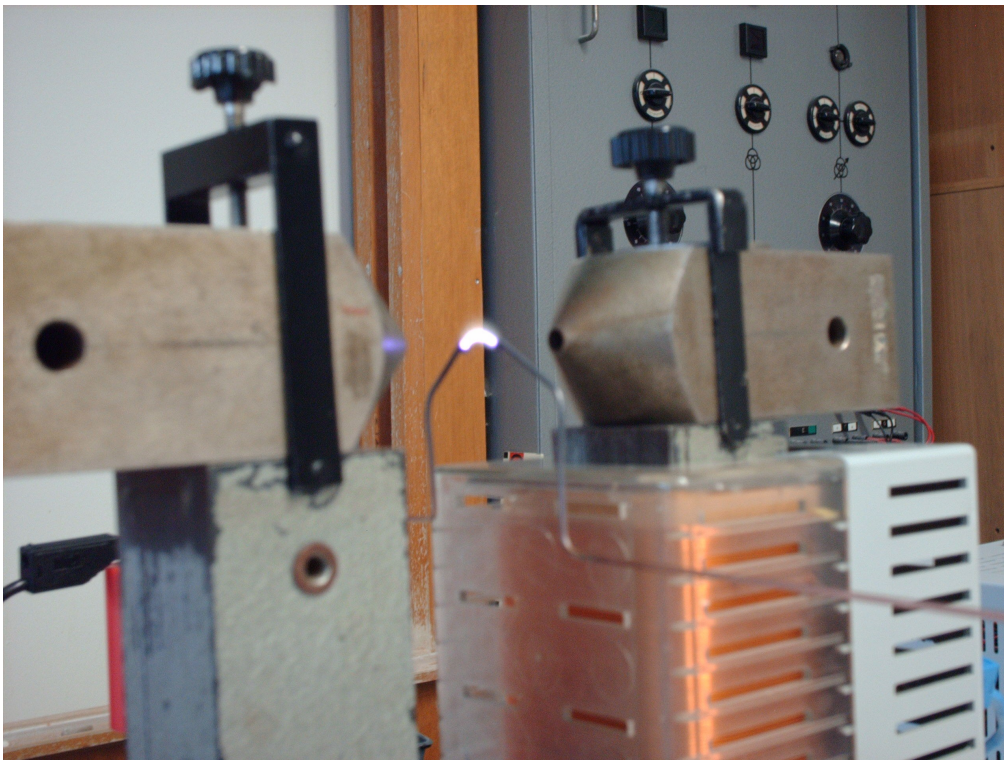


*Abb. 1: Der Aufbau unseres Experimentes*

## 5 Die Funktion unseres Gerätes

Zwischen den Spitzen wird durch das Anlegen der Hochspannung ein Lichtbogen gezündet. Dabei fließt ein Strom durch die ionisierte Luft, die als Plasma nicht mehr isolierend wirkt. Die Stärke dieses Stroms ist von der Höhe der Hochspannung und vom Abstand der Spitzen abhängig. Wir wählen den Abstand der Spitzen so, dass bei der von unserem Zeilentransformator erzeugten Hochspannung ein stabil brennender Lichtbogen entsteht.

Im Plasma des Lichtbogens wird die Luft sehr stark erwärmt und bekommt dadurch in der umgebenden Luft eine Auftriebskraft. Dadurch wölbt sich der Lichtbogen nach oben, wie im folgenden Bild zu sehen ist.



*Abb. 2: Die Auftriebskraft wölbt den Lichtbogen nach oben*

Durch den Elektromagneten wirkt nun zusätzlich eine magnetische Kraft auf den Strom im Lichtbogen. Das Magnetfeld ist senkrecht zur Stromrichtung des Lichtbogens und senkrecht zur Auftriebskraft ausgerichtet. Die magnetische Kraft wirkt dann in Richtung der Auftriebskraft oder in der entgegengesetzten Richtung zur Auftriebskraft, je nach Stromrichtung im Plasma und je nach Polung des Elektromagneten.

Wenn ein Gleichstrom durch den Elektromagneten fließt, wird der Lichtbogen stark aufgefächert, da der Strom im Lichtbogen mit der Resonanzfrequenz des Zeilentransformators von  $\sim 20$  kHz seine Richtung umkehrt. Dabei entsteht eine Schallwelle mit  $\sim 20$  kHz, die wir als fiependen Ton hören. Wenn nun am Elektromagneten der Strom mit einer anderen Frequenz fließt, ist diese Frequenz ebenfalls als Überlagerung zu hören, da der Lichtbogen auch mit dieser Frequenz ausgelenkt wird und eine entsprechende Schallwelle hervorruft.

## 6 Wissenschaftliche Beschreibung mit Formeln

Auf die bewegten Ladungen im Magnetfeld wirken drei Kräfte:

Die magnetische Kraft auf eine Ladung  $q$ , die sich mit der Geschwindigkeit  $v$  bewegt, ist  $\vec{F}_L = q(\vec{v} \times \vec{B})$ . Diese Kraft wird auch Lorentzkraft genannt. Sie wirkt senkrecht zur Richtung des Stroms und senkrecht zur Richtung des Magnetfelds, in unserem Experiment also je nach Stromrichtung und Polung des Magnetfeldes nach oben oder nach unten.

Die Auftriebskraft für das Plasma im Lichtbogen wirkt senkrecht zur Erdoberfläche nach oben. Die Auftriebskraft ist  $\vec{F}_A = g(m_{Luft} - m_{Plasma})$  mit der Erdbeschleunigung  $g$  und der Differenz der Massen von Luft und Plasma im Bereich des Lichtbogens.

Die elektrische Kraft zwischen den Spitzen erzeugt den Lichtbogen. Sie beschleunigt eine Ladung  $q$  im Plasma durch die elektrische Spannung  $U$  und ist  $\vec{F}_E = q \cdot U/d$ . Dabei ist  $d$  der Abstand der Spitzen. Allerdings kann die Ladung nur beschleunigt werden, bis sie mit dem nächsten Luftmolekül zusammen stößt. Dadurch wird die Luft aufgeheizt und ein Plasma entsteht.

## 7 Weitere Bilder

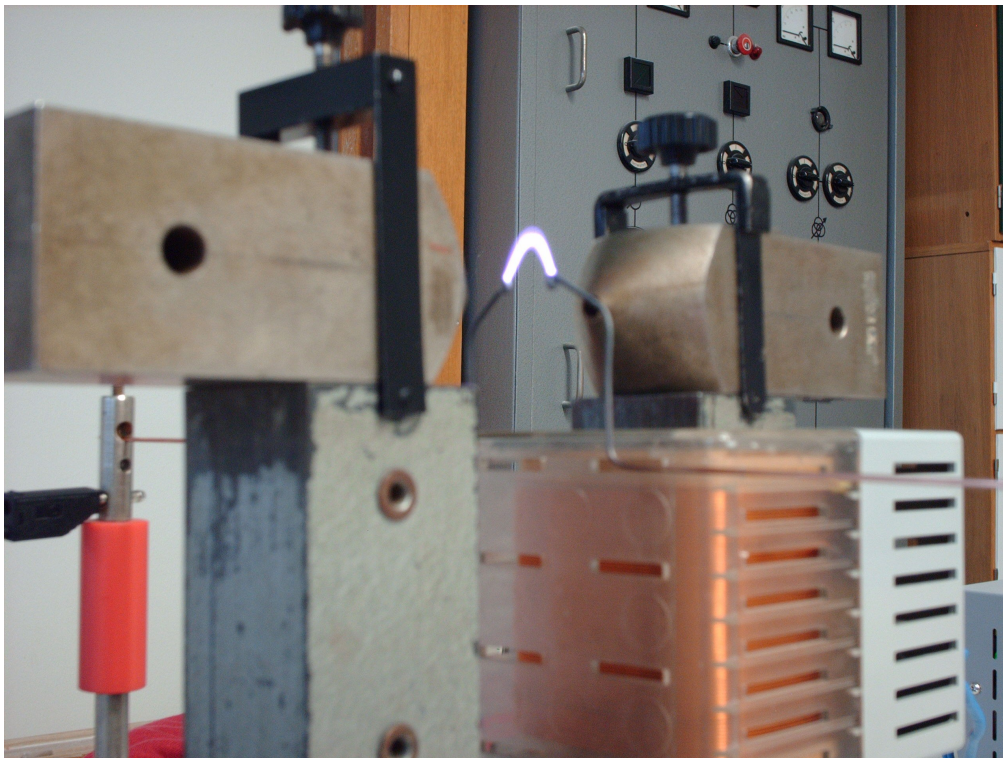
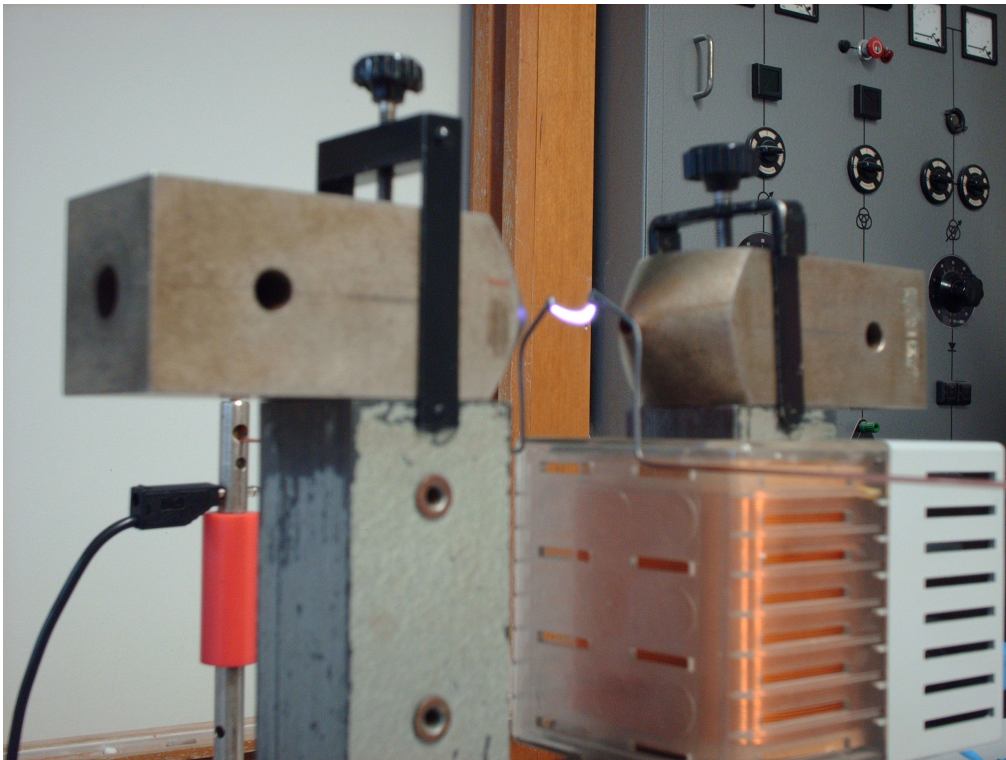


Abb. 3: Der Lichtbogen mit maximaler Ablenkung nach oben



*Abb. 4: Der Lichtbogen mit maximaler Ablenkung nach unten*