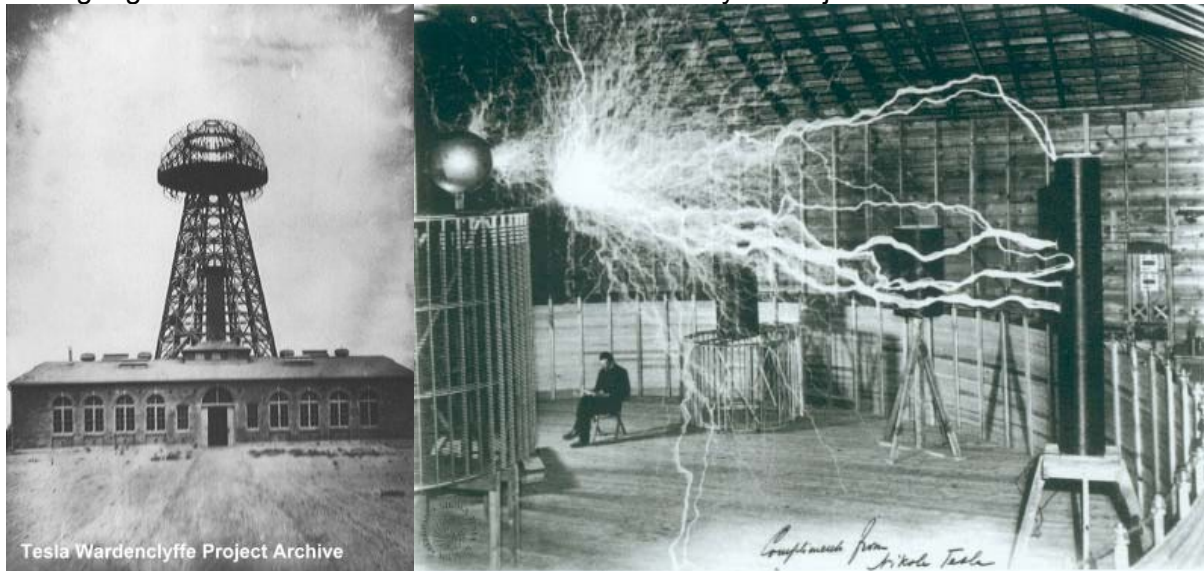


# Jugend Forscht Arbeit zum Thema Teslatransformator

## Nikola Tesla<sup>1</sup>

Nikola Tesla war ein kroatischer Physiker, Elektroingenieur und Erfinder, der im Zeitraum von 1856 bis 1943 lebte und forschte.

Tesla beschäftigte sich hauptsächlich mit elektrischem Strom und dessen Eigenschaften. So entwickelte er auch den Wechselstrom, der bis zur heutigen Zeit als die Hauptmethode zur Übertragung elektrischer Ströme gilt. Des Weiteren erfand er den nach ihm benannten Teslatransformator, der zur Erzeugung hochfrequenter Wechselspannung benutzt werden kann. Tesla wollte mit diesem Transformator weltweit ermöglichen, Energie in Form von Strom kabellos aus der Luft zu entnehmen. Auf Grund dieser Idee nahm er das Wardenclyffe-Projekt in Angriff. Ursprünglich als Projekt zur Übermittlung von Daten gedacht, erfuhren seine Geldgeber von Teslas wahrer Idee und stellten ihm kein Geld mehr zur Verfügung. Letztendlich scheiterte daran das Wardenclyffe-Projekt.



Links: Das Wardenclyffe Projekt.

Rechts: Nikola Tesla in seinem Labor, das Bild entstand aus einer Mehrfachaufnahme. Zum Zeitpunkt der Entladung befand sich Tesla nicht in seinem Labor.

## Entstehung der Idee zum Bau eines Teslatransformators

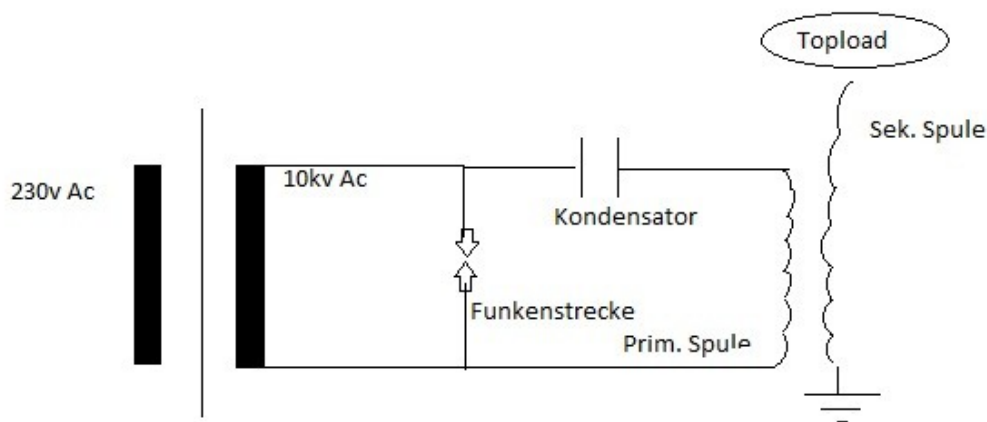
Die Idee zum Bau eines Teslatransformators entstand während eines Kinobesuchs mit meinem Onkel. Wir schauten den Film „Duell der Magier“ mit Nicolas Cage, in welchem einige große Teslatransformatoren zu sehen sind. Nach dem Film war die Faszination geweckt und ich war beeindruckt von den gigantischen Spulen, welche Blitzentladungen erzeugen konnten. So war mein Interesse geweckt und ich begann im Internet zu recherchieren.

## Umsetzung

Nach einiger Recherche setzte sich in meinem Kopf die Idee fest, selbst eine solche Spule zu bauen. So begann ich nach Darstellungen kleinerer Spulen zu suchen, welche sich für uns zum Nachbauen eigneten. Kurzer Hand hatte ich noch einen Freund mit in das Projekt einbezogen und so begannen wir zu zweit die ersten Spulen zusammen zu basteln.

Zu diesem Zeitpunkt waren wir uns natürlich noch nicht im Klaren, welche weitläufige Physik sich hinter diesem Thema verbirgt. So war es im Nachhinein klar, dass keiner unserer ersten Versuche funktionieren konnte.

Unter anderem dachten wir, man könnte die nötige Hochspannung erreichen, in dem man Kondensatoren mit einer 9V-Blockbatterie auflädt und dann in Reihe schaltet. Natürlich konnte das nicht funktionieren. Irgendwann fand sich dann ein anscheinend geeignetes Projekt<sup>2</sup> im Internet, dessen Nachbau wir in Angriff nahmen. Ohne große Berechnungen wickelten wir mit übrig gebliebenem Kupferlackdraht eine kleine Spule auf ein Kabelverlegerohr, wickelten eine weitere Spule auf einen Blumentopf und besorgten uns im nächsten Elektronik-Markt Kondensatoren, deren Bezeichnungen wir der Webseite entnahmen. Ein weiterer Fehlversuch, welchem wir auf den Grund gehen mussten. Zunächst dachten wir, es könnte daran liegen, dass der Blumentopf, den wir als Halterung für die Primärspule nutzten, das nötige Schwingfeld störte. Der Teslatransformator besteht im Wesentlichen aus zwei Schwingkreisen, die in Resonanz arbeiten. In unserem Projekt bestand der primäre Schwingkreis aus einem Einspeisetrafo, einer Funkenstrecke, Kondensatoren und einer auf einen Blumentopf gewickelten Primärspule. So wickelte ich eine neue Primärspule auf ein Plastikrohr, mit der ich aber auch keinen Erfolg hatte. Also begann ich im Internet nach Lösungen zu suchen. Ich las mir gefühlte tausend Seiten durch und begriff langsam wie eine Teslaspule wirklich funktionierte und was nötig war damit dieser Blitze entlockt werden können. Also ging es an einen weiteren Versuch. Einen neuen Trafo, der die nötige Primärspannung lieferte hatten wir mittlerweile bei einem örtliche Heizungsmonteur besorgt. Denn wir arbeiteten mit einem Zündtransformator wie er aus alten Ölheizungen ausgebaut werden kann. Dieser wurde uns freundlicherweise von der Firma Dötsch zur Verfügung gestellt; dafür hier noch einmal ein herzliches Dankeschön! So entwickelten wir also unseren ersten eigenen Aufbau und gingen nach dem folgenden Schaltplan vor.



Mit diesem Schaltplan und neuen Kondensatoren, sowie einem komplett neuen Aufbau und neuen Spulen erreichten wir unsere ersten Ergebnisse, wenn auch mit einer etwas größeren Sekundär-Spule, als vorher geplant. Die Spule wurde mit höchster Sorgfalt gewickelt, was gute Ergebnisse erhoffen ließ. Auch hatten wir das erste Mal den Raacke Rechner<sup>3</sup> zur Berechnung unserer Spule genutzt.



Die hier zu sehende Spule hat einen Durchmesser von 40mm und ist auf der Länge von 24cm bewickelt, was ein Aspektverhältnis von 1:6 ergibt. Die Wickelvorrichtung wurde von mir extra für diese Spule hergestellt, sie besteht aus einer Halterung, in der sich die Spule drehen kann, einem separaten Halter für den Wickeldraht, und besitzt zusätzlich einen Antrieb über eine Bohrmaschine, deren Drehzahl reguliert werden kann. Die Drahtstärke beträgt 0,4mm.

Nachdem die Sekundärspule fertig war, ging es an die Kondensatoren, die zu einer Reihenschaltung (Stack) zusammen zu löten waren.



Zur Verwendung kamen „Wima Fkp1“-Kondensatoren, welche impulsfest und selbstheilend sind. Sie sind bis 600V (AC) spannungsfest und haben jeweils 33nF Kapazität. In diesem Stack verlötet sind 20 dieser Kondensatoren, was eine Spannungsfestigkeit von 12kV (AC) und eine Kapazität von 1,65nF ergibt. Dieses wurde nach folgender Rechnung ermittelt:

$600\text{v} * 20\text{stk} = 12\ 000\text{v} = 12\text{kV}$  Spannungsfestigkeit

$33\text{nf} / 20\text{stk} = 1,65\text{nf}$  Kapazität

Dies wurde mit den Gesetzen für Spannung in Reihenschaltung:

$U=U_1+U_2+U_3+(\dots)$

und dem Gesetz für Kapazität in Reihenschaltung:

$1/C=1/C_1+1/C_2+1/C_3+(\dots)$

berechnet.

Zusätzlich wurde zu jedem Kondensator ein „Bleeder“-Widerstand parallel gelötet, der zur selbstständigen Entladung des Kondensator-Stacks dient, da sich nach dem Gebrauch der

Teslapule gefährliche Restladungen in den Kondensatoren befinden, welche ohne Entlade-Widerstände zu einem lebensgefährlichen Stromschlag führen könnten. Nachdem dies auch geklärt war, standen noch zwei Komponenten aus: die Funkenstrecke und die Primär-Spule.

Zunächst nahmen wir uns der Funkenstrecke an. Unser erster Versuch bestand aus 5 Stücken von Kupferrohr die mit Heißkleber auf Plexiglas befestigt wurden.



Mit dieser Funkenstrecke bauten wir unseren ersten Versuch auf. Da dieses Modell allerdings sehr heiß wurde und sich der Kleber löste, bauten wir unser zweites Modell.



Diese bestand ebenfalls aus Cu-Rohren, welche allerdings anders angeordnet wurden. Mit diesem Modell arbeiteten wir vorerst weiter, da dieser Aufbau für bessere Kühlung und so für ein besseres Abreißen der Funken (Löschverhalten) sorgte. Dies ist deshalb wichtig, weil es nicht zu Dauerlichtbögen kommen darf, was zum Einbruch des Systems führen würde. Die Teslapule in diesem Fall funktionsunfähig, weil die Funkenstrecke durch Überbrückung außer Kraft gesetzt wäre.



Nun fehlte noch die Primärspule, welche dann von uns angefertigt wurde. Hier ist die Halterung noch ohne Draht zu sehen; dieser wurde nach der Aufnahme eingefädelt.

Hier ist der erste Aufbau zu sehen.



Dieser noch sehr lose Aufbau diente uns nur zum Testen, da wir mittlerweile schon fast nicht daran glaubten, dass jemals etwas funktionierte. Damit der Versuch funktionieren kann, müssen beide Schwingkreise in Resonanz zueinander stehen. Zunächst hatten wir noch nicht den richtigen Abgriffpunkt der primären Spule benutzt, somit war der zu bewundernde Output ungefähr 1mm groß. Jedoch konnte man gut erkennen, wie die Leuchtstoffröhre, die wir in der Nähe im Schrank liegen hatten, anfang zu leuchten. Dies geschah durch das starke magnetische Wechselfeld, welches ein Teslatransformator erzeugt. Deshalb ist es auch nicht zu empfehlen, einen Teslatransformator in der Nähe von Personen mit Herzschrittmacher oder empfindlichen elektronischen Geräten wie z.B. Computern oder Handys einzuschalten. Diese könnten zerstört werden.

Nach einigem Ausprobieren war schließlich der richtige Abgriffspunkt in der Primärspule gefunden und wir hatten das erste wirklich erfolgreiche Ergebnis.



Hier ein Bild vom "First Light": am oberen Rand der Sekundärspule sind sehr gut so genannte Korona-Entladungen zu sehen. Dies ist ein Problem das wir umgehend in den Griff bekommen mussten. Das Problem wurde von uns durch herabsetzen des Toploads (Kondensator des sekundären Schwingkreises) und Isolierung mittels Isolierband gelöst. Nach einigen Versuchen mit verschiedenen Toploads beschlossen wir, nun unserem losen Aufbau eine Struktur zu geben und alles in einem festen Aufbau zu integrieren.

Mit diesem Schritt beschlossen wir zugleich, noch eine neue Funkenstrecke zu bauen, da wir mit unserer nicht mehr zufrieden waren, was das Löschverhalten anging. Des Weiteren hatten wir die Vorstellung, einen Lüfter zur Kühlung einzusetzen.





Dieses neue Modell wurde mit einem Walzen-Lüfter ausgestattet, welcher noch vorrätig war. Die Funkenstrecke besteht ebenfalls aus Kupferrohren. Auf dem Bild sieht man, dass eine Lücke überbrückt wurde. Als Faustregel gilt 1kV kann 1 mm Luftspalt überwinden. Mit dieser neuen Funkenstrecke. wurde dieser Aufbau aufgebaut.



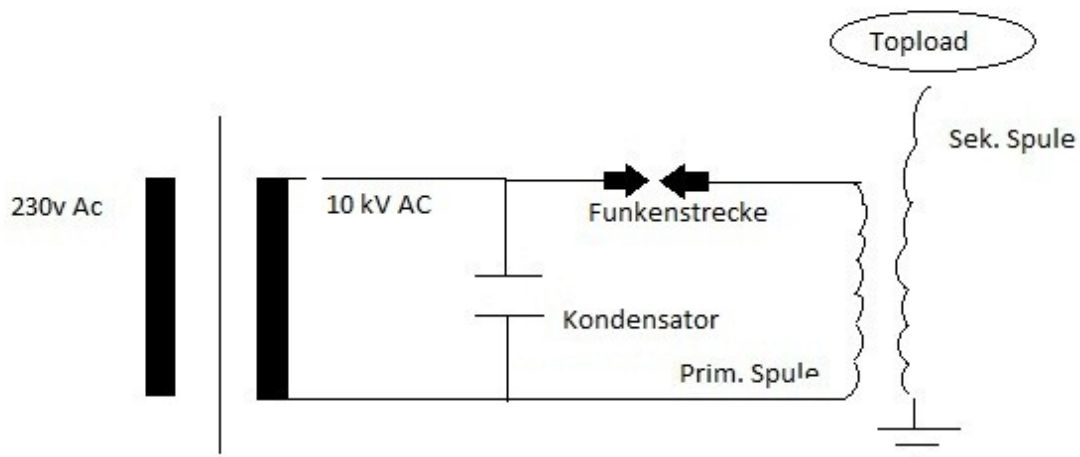
Mit diesem Aufbau, der SGTC 1 (Spark Gap Tesla Coil) führten wir unsere erste funktionierende Teslaspule unseren Physik-Lehrern in der Schule vor. Diese waren sofort von unserer Arbeit begeistert und gaben den Anstoß, uns bei Jugend Forscht anzumelden. Sie wiesen uns aber auch darauf hin, dass wir unser Projekt „anfasssicher“ gestalten müssten. So ging es nun wieder an eine Überarbeitung welche vorsah, das komplette Gehäuse mit Plexiglas zu verkleiden.

Natürlich konnte diese Spule nicht einfach mittels Stecker am Netz betrieben werden, Also bauten wir ein Kontrollpult, welches auch einen Netzfilter enthält, der das 220V-Netz vor hochfrequenten Rückschlägen schützen soll, sowie auch eine 10A-Schmelzsicherung, die in einem Neozed-Block verbaut ist. Ebenso bietet das Pult separate Schalter für Lüfter und den Einspeise-Transformator. Als Kabel zum Aufbau der eigentlichen Spulen diente ein fünfadriges Kabel, welches fest angeschlossen ist. Im Zuge der Überarbeitung wurde auch das Kontrollpult überarbeitet und in einen Koffer aus dem Baumarkt eingebaut, Des Weiteren wurde der Koffer so aufgebaut, dass man die Spuleneinheit mit einem ausreichend gekennzeichneten Ce-Drehstrom Stecker an das Pult anschließen kann. Der neue Koffer bietet ebenso wie das alte Pult, einen Netzfilter und eine 10A-Sicherung, zusätzlich wurde noch ein Schlüssel-Hauptschalter, eine Lampe zur Überprüfung des Eingangsstroms und ein Not-Aus-Schalter eingebaut.

Nachfolgend Bilder des neuen Aufbaus und des Kontrollkoffers.



Der Deckel der Spuleneinheit ist mit Scharnieren an der Rückseite befestigt und lässt sich somit aufklappen. In der aktuellen Form (STGC 1.3) wurde der hier zu sehende separierte Einspeise-Trafo wieder in das Hauptgehäuse eingebaut, um möglichst hohe Anfasssicherheit zu gewährleisten. Außerdem mussten wir eine kleine Änderung des Schaltplans vornehmen, da wir Schwierigkeiten, hatten die Teslaspule nach dem Umbau wieder funktionsfähig zu bekommen. Unser neuer Schaltplan sieht wie folgt aus.



### Abstimmung der Schwingkreise

Damit die Teslaspule einwandfrei funktioniert, sollten beide Schwingkreise, Primär- und Sekundärkreis, in Resonanz schwingen. Um die Frequenz zu bestimmen verwendeten wir

ein Oszilloskop, das wir im jeweiligen Schwingkreis anschlossen. Zusätzlich war ein Funktionsgenerator nötig, mit dem wir ein Signal mit der Frequenz von etwa 1 kHz einspeisten. Mit diesem Verfahren kann man auf dem Oszilloskop den Ausschwingvorgang der Spule sehen. Wichtig ist, dass man bei diesem Versuchsaufbau den Topload mit anschließt, da sich sekundärseitig sonst kein Schwingkreis aufbauen kann. Lässt man den Topload weg, so sieht man nur das leicht verzerrte Rechtecksignal, das man mit dem Funktionsgenerator eingespeist hatte.



Auf den obigen Bildern kann man deutlich den Ausschwingvorgang der Spule sehen. Links: erkennt man das extern angelegte Rechtecksignal, rechts ist das Bild auf einen Ausschwingvorgang gedehnt. Im Primärkreis kann man mit dem gleichen Vorgang vorgehen; es muss jedoch die Funkenstrecke überbrückt werden und der Einspeise-Trafo ausgebaut werden, da dieser eine Eigenwicklung besitzt welche, das Messen unmöglich macht. Des Weiteren muss man bedenken, dass beim Messen selbst kurze Kabel eine eigene Induktivität darstellen und so das Ergebnis leicht verändern.

## Nutzen

Oft werde ich gefragt, welchen Nutzen denn eigentlich eine solche Spule hat. Die Spule an sich dient mir zur anschaulichen Vorführung von Hochspannung und hochfrequenter Wechselfeld. Ebenfalls ist es erstaunlich zu sehen, wie Leuchtstoffröhren, die entfernt und ohne Kontakt zur eigentlichen Spule sind, anfangen zu leuchten. Dies wird durch das starke magnetische Wechselfeld ausgelöst. Die eigentliche Idee Teslas war jedoch, die weltweit drahtlose Energie bereit zu stellen. Dieses Projekt scheiterte jedoch aus vielen Gründen, obwohl das Aufleuchten einer Leuchtstoffröhre ohne direkten Kontakt zeigt, dass dies bis zu einem bestimmten Punkt funktionieren könnte.

Auf meinem Plan für die Zukunft steht noch, eine weitere Spule zu bauen; eine größere mit mehr Output. Jedoch sind bei einem solchen Projekt höchste Vorsichtsmaßnahmen zu treffen. Spannungen in dieser Höhe können sehr gefährlich werden, wenn man nicht genau weiß wie man vor zu gehen hat.

Hier ein Bild von unserem neuesten Projekt.





### Quellen & Dank

- 1: [http://de.wikipedia.org/wiki/Nikola\\_Tesla](http://de.wikipedia.org/wiki/Nikola_Tesla) (29.02.12)
- 2: <http://web367.login-102.hoststar.ch/teslaspulen/sgtc-005.htm> (29.02.12)
- 3: <http://raacke.de/> (29.02.12)
- 4: <http://forum.mosfetkiller.de/> (23.02.12)
- 5: <http://www.ctc-labs.de/> (14.02.12)

An dieser Stelle einen herzlichen Dank an die Firma Dötsch aus Lahnstein, Meine Eltern Nina Jäger und Raphael Otto und meinen Stiefvater Sebastian Jäger, an die Eltern meines Freundes Hermann und Heidi Kratz, an unsere Physiklehrer Herr Dr. Zimmerschied und Herr Droll.