

Transformatoren

An diesem Versuchstag sollen Sie anhand mehrerer Versuche aus der Elektrizitätslehre damit vertraut werden, ab wann Experimente gefährlich sind, welche Vorsichtsmaßnahmen man ergreifen muss bzw. wie man Experimente gestalten kann, damit Sie berührungssicher sind.

Nach der RiSU (Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht)¹ und auch nach entsprechender DIN-Norm gilt als **berührunggefährliche Spannung**:

- wenn die Spannung **25 V Wechselfspannung eff.** oder **60 V Gleichspannung** überschreitet
- oder bei der bei Spannungen größer als 25 V Wechselfspannung eff. oder 60 V Gleichspannung der mögliche Kurzschlussstrom größer als **3 mA Wechselstrom eff.** oder **12 mA Gleichstrom** ist (gemessen über einen induktionsfreien Widerstand von 2 kOhm)
- oder bei der die mögliche Entladungsenergie (bei kurzzeitiger Entladung) größer ist als 350 mJ.

In **Teil A**) des Versuchstags beschäftigen Sie sich mit (Hochspannungs-)Transformatoren und deren Anwendungen und lernen, wie man sicher mit Hochspannung experimentiert.

In **Teil B**) betreiben Sie einen Tesla-Transformator – den Vorläufer heutiger drahtloser Energieübertragungssysteme. Dieser hat heutzutage keine technische Anwendung, ist aber ein sehr bekanntes und schönes Motivations- und Demonstrationsexperiment für den Unterricht, Ausstellungen, Museen...

Im **Vorbereitungsdokument** finden Sie **Fragen, die Sie bearbeitet haben sollen, bevor Sie den Versuch antreten**. Damit erarbeiten Sie sich die theoretischen Grundlagen für die Versuche.

Wie immer gilt:

Fertigen Sie während der Praktikumdurchführung Ihr Protokoll an! Notieren Sie übersichtlich die einzelnen Versuche, Ihr Vorgehen, Ihre Beobachtungen und Ergebnisse!

¹ https://www.kmk.org/fileadmin/veroeffentlichungen_beschluesse/1994/1994_09_09-Sicherheit-im-Unterricht.pdf

A) Versuche mit Transformatoren

Sie finden in der Sammlung diverse Spulen mit verschiedenen Windungszahlen (Abb. 1a). Achtung: Es gibt auch sog. „Netzspulen“, die Sie direkt ans Stromnetz anschließen können (Abb. 1b) – verwenden Sie die nur für ganz spezielle Versuche (z.B.: „Hörnerblitz“) und dann auch niemals ohne Eisenkern!



Abb. 1a: Einfache Spule



Abb. 1b: Netzspule

Des Weiteren finden Sie Eisenkerne. Sie können daraus nun verschiedene Transformatorvarianten aufbauen.

Versuch 1: Demonstrationsversuche zu Trafo-Anwendungen

- a) „Hörnerblitzableiter/-trafo“, oft auch „Jakobsleiter“ genannt (s. Abb. 2): Mit diesem zeigt man, wie Spannung hochtransformiert wird. Verwenden Sie für die Primärspule eine Netzspule mit 500 Windungen, für die Sekundärspule eine Spule mit 24000 Windungen. Zum kontrollierten Hochregulieren der Spannung eignet sich ein Wechselspannungssteller. Was beobachten Sie und warum?

Überlegung zur Sicherheit: Wie gefährlich ist das Experiment? Welche Spannungen treten konkret auf der Primär-/Sekundärseite auf?

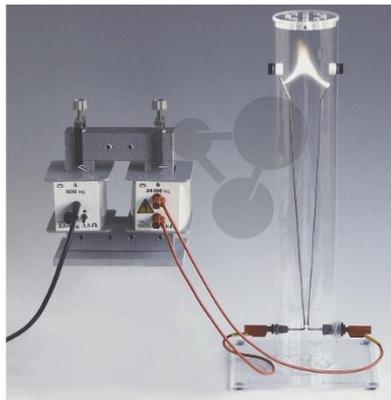


Abb. 2: Aufbau Hörnertrafo
(Bild: conatex.com)

- b) Beim Versuch zum „elektrischen Schweißen“ wird die Spannung von einer Primärspule mit etwa 500 Windungen zu einer Sekundärspule mit nur 5 Windungen heruntertransformiert, während die Stromstärke hochtransformiert wird, siehe Abb. 3.

Überlegung zur Sicherheit: Wie gefährlich ist das Experiment? Welche Stromstärke tritt auf der Sekundärseite auf, wenn Sie davon ausgehen, dass die Primärspule an Ihrer Belastungsgrenze betrieben wird (s. Angaben auf Spule)?

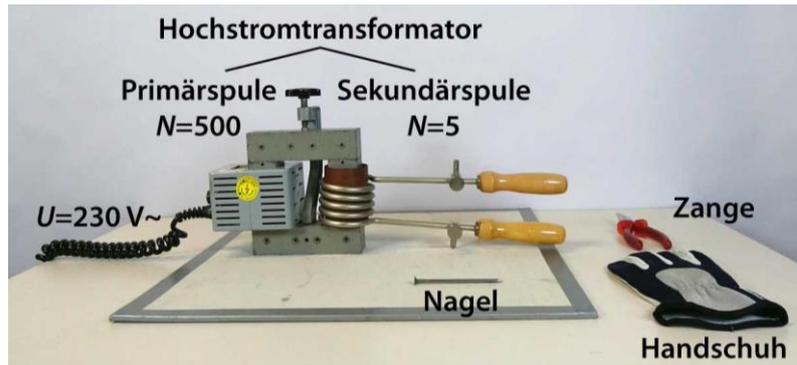


Abb. 3: Versuch zum elektrischen Schweißen

(Bild: <https://www.leifiphysik.de/elektrizitatslehre/transformator-fernubertragung/versuche>)

Versuch 2: Hochspannungsleitungen

In diesem Versuchsteil soll qualitativ nachgewiesen werden, warum es sinnvoll ist, für Stromübertragung über weite Strecken Hochspannungsleitungen zu verwenden. Als "Hochspannungsleitung" dient hier ein großes Draht-Potentiometer (Abb. 4a). Verwenden Sie für die folgenden Aufgaben ein Wechselspannungs-Netzgerät mit regelbarer Spannung im Bereich [0V.. 25V], sowie zwei Transformatoren jeweils bestehend aus einem Eisenjoch und zwei Spulen.

a) Sie finden in der Sammlung eine 30W-Glühlampe (siehe Abb. 4b). Finden Sie heraus, mit welcher Spannung sie betrieben werden darf und bringen Sie sie zum Leuchten. Welche Stromstärke benötigen Sie dafür mindestens?



Abb. 4a) Drahtpotentiometer



Abb. 4b) Glühlampe

b) Bauen Sie nun den Drahtwiderstand in größtmöglicher Einstellung (ca. $100\ \Omega$) in Ihren Schaltkreis ein (Widerstand messen, ob der Schieberegler richtig eingestellt ist!).

- Versuchen Sie erneut, die Lampe zum Leuchten zu bringen. Was passiert?
- Welche Leiterlänge simulieren Sie mit diesem Widerstandswert (siehe Vorbereitung)?

c) Bauen Sie Ihre Schaltung nun so um, dass der Widerstand Teil einer Hochspannungsstrecke wird (vgl. Schaltskizze Abb. 5). Verwenden Sie dafür zwei Transformatoren, um die Spannung erst auf das 20-fache hoch- und dann wieder herunterzutransformieren.

- Welche Spulen eignen sich hierfür? Beachten Sie die auf den Spulen vermerkte **maximal erlaubte Stromstärke** mit Hinblick auf Aufgabenteil a)! Sonst droht Zerstörung!
- Was passiert nun, wenn Sie die Spannung hochfahren?
- Wie groß ist nun die Verlustleistung? Wie groß wäre sie ohne Verwendung der Hochspannung? Messen Sie hierfür mit dem Ampèremeter den Strom sowohl im Primärkreis als auch im Hochspannungs-Kreis.
- Was schließen Sie daraus bzgl. der Effizienz von Hochspannungsleitungen? Was könnte eventuell gegen zu hohe Spannungen sprechen?

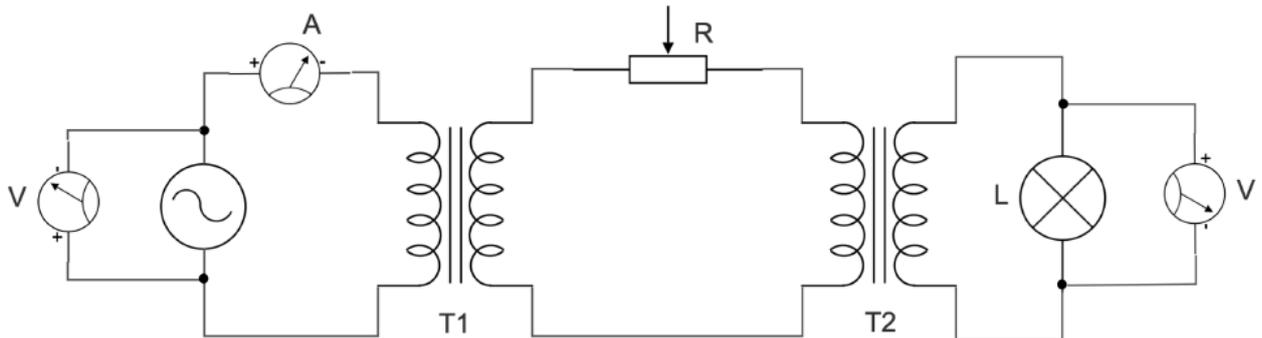


Abb. 5: Schaltkizze für die Hochspannungsübertragungsstrecke

B) Tesla-Transformator

In der Vorbereitung haben Sie sich bereits mit dem Tesla-Transformator beschäftigt, in Abb. 6 sehen Sie nochmal die Schaltkizze:

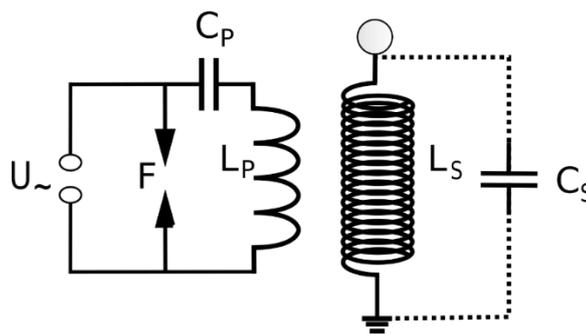


Abb. 6: Schaltkizze des Labor-Teslatransformators

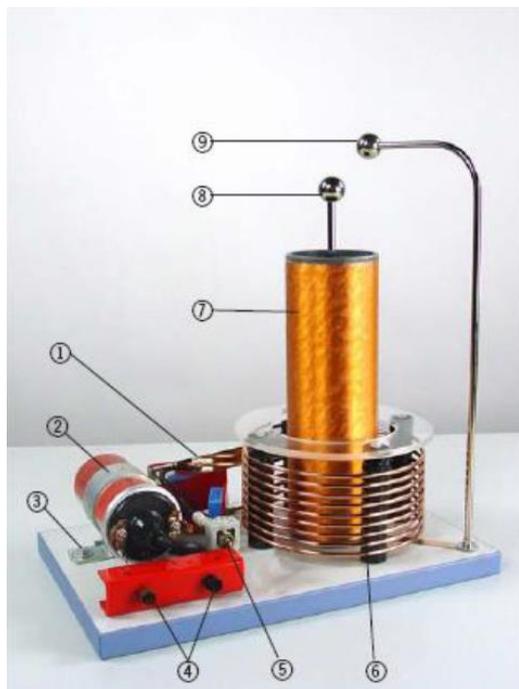
Sicherheitshinweise Tesla-Trafo:

Bitte legen Sie alle elektronischen Geräte, die Sie bei sich tragen, wie beispielsweise Mobiltelefone, mindestens 2m weit vom Aufbau entfernt, da große elektromagnetische Felder entstehen. Mit Herzschrittmachern oder Ähnlichem sollte dieser Versuch nicht durchgeführt werden.

An der Sekundärspule entsteht eine Spannung von bis zu 100kV. Berühren Sie den Tesla-Transformator nur, wenn Sie am Netzteil die Spannung auf null gedreht und dann ausgeschaltet haben.

Die Erdung sollte beim Experimentieren stets angeschlossen sein und die Spannung auf maximal 20V eingestellt werden. Zur Schonung des Versuchsaufbaus (und da er für die Umgebung ein massiver Störsender darstellt) sollte der Tesla-Transformator nie länger als eine Minute am Stück in Betrieb sein.

1. Schließen Sie den Tesla-Transformator an den 12A Wechsellspannungsausgang des Netzgerätes an. Stecken Sie die kurze und die lange Kugelelektrode an den Aufbau (s. Abb. 7). Beobachten Sie zunächst den Überschlag zwischen den beiden Kugeln. Sie können nach der Faustformel für die Durchschlagsspannung von Funken in Luft (ca. 3kV/mm) die Spannung zwischen den Kugeln abschätzen. Wie groß ist diese Spannung?
2. Bauen Sie nun die Kugelelektroden ab und stecken Sie die Nadelelektrode auf die Sekundärspule auf. Variieren Sie die Windungszahl der Primärspule bis die an der Kugelelektrode sichtbare Korona-Entladung maximale Stärke erreicht. Machen Sie dann folgendes:
 - Schalten Sie wieder ab und stecken Sie die zweite Sekundärspule auf. Was erwarten Sie, wenn Sie bedenken, dass die Resonanzfrequenz eines Schwingkreises von der Spuleninduktivität abhängt? Wie groß ist die Resonanzfrequenz jetzt?
 - Überlegen Sie sich, wie Sie Ihr System wieder optimal einstellen können, um eine optimale Korona-Entladung zu beobachten und führen Sie dies durch!
3. Nehmen Sie die Leuchtstoffröhre und bewegen Sie sie um die Spule herum (Achtung: Nicht an den metallischen Enden anfassen). Was beobachten Sie?
4. Setzen Sie das Sprührad aus dem Zubehör auf die Nadelelektrode und betreiben Sie den Tesla-Trafo. Was beobachten Sie und wie erklären Sie sich das jeweils?



- 1 Spulenabgriff
- 2 Zündspule
- 3 Grundplatte
- 4 4-mm-Sicherheitsbuchsen
- 5 Funkenstrecke (Zündkerze)
- 6 Primärspule
- 7 Sekundärspule
- 8 Kugelelektrode, kurz
- 9 Kugelelektrode, lang

Abb. 7: Tesla-Transformator: Aufbau im Praktikum²

² Anleitung von 3B Scientific