

Die Umrichtung der Spannungslage auf ein höheres oder tieferes Niveau begleitet uns im täglichen Leben aber auch in der Elektromobilität ständig. Um ein elektronisches Gerät aufzuladen, muss die Netzspannung auf die Akkuspannung heruntertransformiert und dann gleichgerichtet werden. Das kann bei einem akkubetriebenen Staubsauger, beim Akkuschauber oder beim Handy sein. Diese Netzgeräte bestehen aus Transformatoren und funktionieren durch Induktion. Über die Induktion wurde schon in verschiedenen Kapiteln berichtet (vgl. AC-Grundlagen, E-Maschinen, Ladung). Eine Induktion funktioniert nur, wenn ein Magnetfeld, eine Spule und eine Bewegung vorhanden sind. Dabei kann sich die Spule im stehenden Magnetfeld (Induktion der Bewegung) oder das Magnetfeld in der stillstehenden Spule bewegen (Induktion der Ruhe). Aus den Gesetzen der Energieerhaltung muss für die Induktion immer eine Bewegung mit im Spiel sein. Wenn das nicht so wäre, könnte ein Permanentmagnet in die Nähe einer Spule gelegt werden und in der Spule würde dann quasi gratis elektrische Energie entstehen.

### Primärspule

Um in einer Spule ein Magnetfeld aufzubauen, muss ein Strom durch die Spule geleitet werden. Die Magnetfeldstärke ist abhängig von der Stromstärke, der Anzahl Windungen und von der Frage, ob ein Eisenkern vorhanden ist oder nicht. Der Aufbau eines Magnetfeldes kann man sich bildlich vorstellen: im Einflussbereich der Spule, also vor allem im Weicheisenkern, befinden sich winzig kleine Elementarmagnete. Unter Einfluss des elektrisch erzeugten Magnetfeldes richten sich diese Elementarmagnete aus. Sind alle ausgerichtet, wird von der Spulensättigung gesprochen. Auch wenn danach der Spulenstrom noch weiter gesteigert wird, kann das Magnetfeld nicht mehr stärker werden. Wird der Spulenstrom vermindert, entscheiden die Materialeigenschaften des Eisenkerns, wie schnell die Ausrichtung der Elementarmagnete wieder zerfällt. Passiert das unmittelbar, handelt es sich um einen Weicheisenkern, einen magnetisch weichen Eisenkern, in welchem sich die Elementarmagnete schnell ausrichten und schnell wieder umrichten. Bei einem

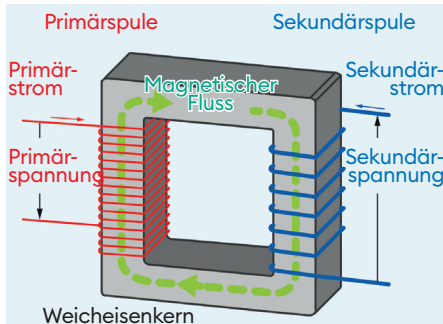


Bild 2: Beim Transformator wird die Energie über das Magnetfeld übertragen.

hartmagnetischen Stoff (= Permanentmagnet) bleiben die einmal ausgerichteten Elementarmagnete auch wenn der Spulenstrom wieder ausgeschaltet wird. Die Hysteresekurve (vgl. E-Maschinen, Magnetismus) gibt Auskunft über die Qualität des Weicheisens bzw. des Permanentmagneten. Die Spule stellt im Primärstromkreis eine Last dar, in welcher durch Selbstinduktion die Spannung dem Strom voreilt (Phasenverschiebung).

### Sekundärspule

Die Sekundärspule ist grundsätzlich gleich aufgebaut wie die Primärspule. Wird die Spannung nach oben transformiert, weist sie entsprechend mehr Windungen als die Primärspule auf. Die Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom ist auf der Sekundärseite des Transformators abhängig von der angeschlossenen Lastart (ohmsch, kapazitiv oder induktiv).

### Spulenverluste

Die Verluste, welche in einer (Transformator-) Spule entstehen, unterteilen sich in Stromwärmeverluste und Eisenverluste. Die Stromwärmeverluste entstehen in den stromführenden Leitungen und hängen vom Leiterwiderstand und vom fließenden Strom ab. Die Eisenverluste haben auch einen doppelten Ursprung. Einerseits handelt es sich um Wirbelstromverluste, also um die induzierten Spannungen im Eisenkern, welche einen Kurzschlussstrom in den Eisenlamellen erzeugen. Daneben gibt es die Ummagnetisierungs- oder Hystereseverluste, welche dann entstehen, wenn die Elementarmagnete umgepolt werden. In der Vorstellung müssen diese Kleinstmagnete im Eisenkristall tatsächlich gedreht werden. Das erzeugt Reibung und man kann sich vorstellen, dass daraus auch Verlustwärme entsteht.

### Sicherheit

Die Sicherheit vor zu grossen Spannungen wird grundsätzlich grossgeschrieben. Bei jedem Netzgerät ist es wichtig, dass auf der Niederspannungsseite nicht plötzlich die Netzspannung anliegt. Das kann in einem Transformator kaum geschehen, da die beiden Spannungslagen galvanisch getrennt sind. Bei einer galvanischen Trennung wird die zugeführte Energie über eine andere Energieform



Bild 1: Beim Laden von E-Fahrzeugen werden Transformatoren verwendet, welche mit sinus-förmiger Netzenergie betrieben werden. Das Bild zeigt eine Wallbox aus Schweizer Produktion.

auf die Energieabgabeseite übertragen. Beim Transformator wird die Energie elektrisch zugeführt, von der Primärspule über ein Magnetfeld auf die Sekundärspule geleitet und dort wieder elektrisch weggeführt. Das Magnetfeld stellt die Übertragungsenergie dar und stellt so die galvanische Trennung sicher. Ein anderes Beispiel der galvanischen Trennung stellt der Optokoppler dar. Eine LED wird vom Mikroprozessor bestromt und sendet Licht auf die Basis eines Fototransistors. Dieser schaltet eine Last bei höherer Spannung. Beim Optokoppler stellt das Licht die Energieübertragung sicher (galvanische Trennung).

### Transformator im E-Mobil

Im Elektromobil werden Transformatoren an verschiedenen Stellen eingesetzt: Die Wallbox (Bild 1) transformiert die Spannung auf das richtige Niveau, übernimmt die Gleichrichtung und lädt die Batterie. Bei anderen Ladungsarten wird Wechselstrom dem Fahrzeug zugeführt und dann übernimmt der On-board-Charger die Transformations- und Gleichrichtungsaufgaben. Ein weiterer wichtiger Transformator liefert die Energie von der HV-Batterie ins 12-V-Bordnetz. Im Inverter muss die Gleichspannung auf die von den Traktionsmaschinen verlangte Spannung transformiert werden und zudem wird noch Wechselstrom erzeugt.

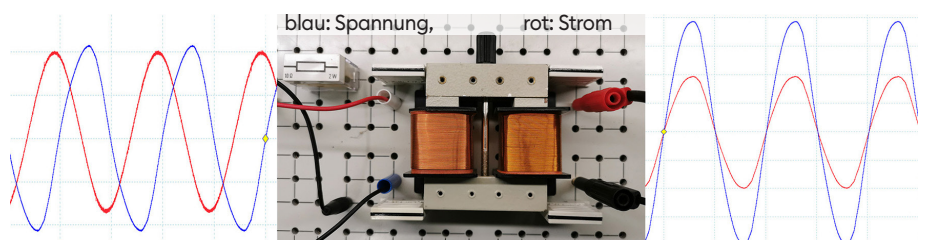


Bild 3: Der Versuchsaufbau und die Bilder des Oszilloskops zeigen die grundsätzliche Transformatorschaltung mit dem primär- und sekundärseitigen Spannungs- und Stromverlauf bei Sinusbetrieb.