



UNIVERSITÄTS-  
BIBLIOTHEK  
PADERBORN

# **Lehrbuch der Experimentalphysik**

**Lommel, Eugen von**

**Leipzig, 1908**

270. Elektromotoren. Elektrische Kraftübertragung

---

[urn:nbn:de:hbz:466:1-83789](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-83789)

270. **Elektromotoren. Elektrische Kraftübertragung.** Leitet man den Strom einer Dynamomaschine durch die Bewickelung einer zweiten, so gerät diese in Umdrehung und kann nun als elektromagnetischer Motor (Elektromotor) mechanische Arbeit verrichten. Im rotierenden Anker eines Elektromotors sind natürlich die gleichen Induktionswirkungen vorhanden, wie sie in der Dynamomaschine zur Stromerzeugung benutzt werden. Sie äußern sich, entsprechend dem Lenzschen Gesetze (260), als gegenelektromotorische Kraft, welche die den Motor antreibende elektromotorische Kraft zu vermindern bestrebt ist, um so mehr, je schneller der Anker sich dreht, während andererseits in der Dynamomaschine die elektromagnetische Rückwirkung zwischen dem induzierten Strom und den Feldmagneten der Bewegung des Ankers entgegenwirkt und durch einen entsprechenden Energieaufwand der Antriebsmaschine überwunden werden muß. Läßt man eine bestimmte elektromotorische Kraft  $E$  auf einen Elektromotor wirken, so geht bei festgehaltenem Anker ein Strom durch den Motor hindurch, der allein durch den Widerstand des Motors bestimmt ist. Läßt man nun den Anker los, so gerät er in Drehung und die Stromstärke sinkt. Hat der Motor keine andere Arbeit zu leisten als die Überwindung seiner eigenen Reibungswiderstände, so wird er in sehr schnelle Drehung kommen und die Stromstärke wird auf einen sehr kleinen Betrag  $i_0$  heruntergehen. Die Arbeit, die die wirkende elektrische Kraft in diesem Falle leistet, die sogenannte Leerlaufsarbeit, ist dann gleich  $Ei_0$ . Wird der Motor aber „belastet“, d. h. muß er als Antriebsmaschine äußere Arbeit leisten, so vermindert sich seine Umdrehungsgeschwindigkeit, die Stromstärke steigt auf einen höheren Wert  $i$ , damit wächst die Zugkraft, die die Feldmagnete auf den Anker ausüben, und desgleichen steigt die Arbeitsleistung der treibenden elektrischen Kraft auf  $Ei$ . Von diesem Arbeitsaufwande aber wird nur ein Teil als nutzbare Arbeit gewonnen, da stets ein gewisser Bruchteil für die Unterhaltung des Stromes im Motor aufgewandt werden muß und als Joulesche Wärme in den Drahtwindungen des Motors verloren geht.

Ist  $E$  die angelegte elektromotorische Kraft,  $J$  die Stromstärke bei stillstehendem Motor, so leistet die Kraftquelle eine Arbeit  $E \cdot J$  (234), die ganz auf Erzeugung von Wärme im Betrage  $J^2 \cdot w$  oder  $E^2/w$  verwendet wird; denn die Stromstärke  $J$  ist in diesem Falle nach dem Ohmschen Gesetz  $= E/w$ , wenn  $w$  den Widerstand des Motors bedeutet. Dreht sich der Motor, so entsteht eine von seiner Umdrehungsgeschwindigkeit abhängige elektromotorische Gegenkraft  $e$ ; der Strom ist infolgedessen  $i = (E - e)/w$ . Die Arbeit aber, welche die Batterie leistet, ist  $E \cdot i = (E^2 - Ee)/w$ . Die im Stromkreis erzeugte Wärme beträgt jetzt  $i^2 \cdot w = (E - e)^2/w$ . Dieser Wert ist kleiner als die von der Batterie geleistete Gesamtarbeit, um den Betrag  $e(E - e)/w = e \cdot i$ . Dieser nicht in Wärme umgesetzte Anteil der Leistung findet sich in der mechanischen Arbeit des Motors wieder.

Man kann auf diese Weise die Arbeit einer stationären Dampfmaschine, eines Wassergefälles usw., indem man sie mittels einer ersten Dynamo in Stromenergie umsetzt, auf beträchtliche Entfernung übertragen, wie z. B. bei der elektrischen Eisenbahn, in deren



Wagengestell die zweite als Motor wirkende Dynamomaschine angebracht ist, welche die Räder umdreht.

Die Leitung starker Ströme auf sehr große Entfernungen bietet übrigens erhebliche praktische Schwierigkeiten. Wird an der entfernten Station eine bestimmte Stromstärke erfordert, so muß man dem kupfernen Leitungsdraht bei doppelter Länge auch den doppelten Querschnitt geben, damit sein Widerstand der gleiche bleibe, und man braucht das vierfache Gewicht an Kupfer. Die Kosten der Leitung nehmen also mit dem Quadrate der Entfernung zu, und man erreicht sehr schnell eine Grenze, bei welcher die Anlage nicht mehr wirtschaftlich ist. Bei der Kraft- oder richtiger Arbeitsübertragung kommt es aber in erster Linie nicht darauf an, eine gewisse Stromstärke oder eine gewisse Spannung, sondern das Arbeitsvermögen oder die Energie des Stromes ohne zu große Verluste nach der entfernten Station überzuführen. Diese Energie ist aber durch das Produkt aus Spannung und Stromstärke (in Voltampère oder Watt) ausgedrückt, und bleibt sonach ungeändert, wenn die Spannung erhöht und die Stromstärke in demselben Verhältnis vermindert wird. Bei doppelter Spannung z. B. ist zur Übertragung derselben Arbeitsmenge nur die halbe Stromstärke erforderlich, und der Querschnitt wie das Gewicht der Kupferleitung vermindert sich für denselben Energieverlust in der Leitung auf ein Viertel.

Zur Überwindung großer Entfernungen muß man also Ströme von hoher Spannung und geringer Stromstärke anwenden (Marcel Deprez, 1882). Die Konstruktion von Gleichstrommaschinen für hohe Spannung ist jedoch mit großen Schwierigkeiten verbunden. Dagegen können Maschinen, welche Wechselstrom erzeugen, für hochgespannte Ströme wesentlich leichter hergestellt werden; daher wird für Kraftübertragung auf große Entfernungen heutzutage vorzugsweise Wechselstrom angewandt. Die Wechselstrommaschinen beruhen auf demselben einfachen Prinzip der Stromerzeugung durch Induktion, das wir oben bei den magnetelektrischen Maschinen (268) bereits kennen gelernt haben; doch werden natürlich statt der Stahlmagnete Elektromagnete angewandt, die von einer besonderen Stromquelle erregt werden müssen; und ferner werden statt eines Magnetes und eines Spulenpaares viele Magnete und Spulenpaare in einer Maschine vereinigt. Die großen in der Elektrotechnik gebrauchten Wechselstrommaschinen sind im wesentlichen folgendermaßen eingerichtet. Längs einem Radkranz sind eine Anzahl von Drahtspulen angeordnet, welche bei der Drehung des Rads zwischen zwei feststehenden Radkränzen rotieren, an deren jedem in gleicher Lage Elektromagnete befestigt sind. Diese Elektromagnete, durch eine Gleichstrom-Dynamomaschine erregt, sind derart geschaltet, daß sowohl die nebeneinanderliegenden wie die einander gegenüberstehenden Magnete entgegengesetzte Polarität haben, so daß jedem Südpol ein Nordpol gegenüber und zwischen zwei Nordpolen ein Südpol steht. Wird der Spulenkranz in gleichförmige Drehung versetzt, so entstehen in



dem Bewickelungsdraht Wechselströme, die für sämtliche Spulen hintereinander geschaltet und von zwei Schlußringen der Achse abgenommen werden.

271. **Transformatoren.** Für die Fortleitung und Verteilung der elektrischen Energie bietet der Wechselstrom noch einen anderen außerordentlichen Vorteil. Leitet man ihn durch eine Spule, die auf einen Eisenkern gewickelt ist, so wird in einer zweiten Spule, die die erste umgibt, oder die auf denselben Eisenkern, etwa auf eine andere Stelle eines geschlossenen eisernen Ringes, gewickelt ist, durch einfache Induktionswirkung, wie in einem Induktionsapparate, ebenfalls ein Wechselstrom hervorgerufen. Diese sekundäre Spule kann nun als Stromquelle für einen zweiten, mit dem ersten direkt gar nicht verbundenen Stromkreis benutzt werden. Man ist also in der Lage, mit einem einzigen Wechselstromkreis eine Anzahl voneinander ganz unabhängiger Stromkreise zu speisen. Außerdem aber hat man es mit diesen Apparaten, die Transformatoren genannt werden (Gaulard und Gibbs, 1887) in der Hand, dem sekundären Strome eine beliebige andere Spannung zu erteilen, als sie der gegebene primäre Strom besitzt. Man kann wie bei den Induktionsapparaten, die sekundäre Spule aus vielen Windungen eines dünneren Drahtes herstellen und erhält dadurch eine höhere Spannung, als die des gegebenen Stromes ist. Man kann aber auch die Spannung „heruntertransformieren“, indem man den gegebenen Strom durch eine Spule von vielen Windungen schickt, und den sekundären aus einer Spule von geringerer Windungszahl entnimmt. Sitzen die beiden Spulen auf einem in sich geschlossenen Eisenkern, so daß die in der einen Spule erzeugten magnetischen Kraftlinien möglichst vollzählig auch durch die andere Spule hindurchgehen, so verhalten sich die Spannungen in den beiden Spulen sehr nahe wie die Windungszahlen der Spulen. Zugleich mit dieser Umformung der elektromotorischen Kraft vollzieht sich eine Umformung der Stromstärken im umgekehrten Sinne. Denn die elektrische Energie, die dem einen Stromkreise entnommen wird, wird fast ungeschmälert auf den anderen übertragen; daher muß das Produkt aus Stromstärke und Spannung in beiden Stromkreisen das gleiche sein. Durch solche Transformatoren verwandelt man also schwache Ströme von hoher Spannung in starke Ströme von niedriger Spannung und umgekehrt. Mit ihrer Hilfe transformiert man den Strom einer Wechselstrommaschine auf diejenige hohe Spannung, deren man zu seiner Fortführung auf große Entfernungen bedarf, und transformiert ihn an der Verbrauchsstelle wieder auf diejenige niedrige Spannung herunter, die für die praktische Verwendung zu Beleuchtungs- oder Arbeitszwecken erforderlich ist.

272. **Drehstrom-Motoren.** Der von einer Wechselstrommaschine gelieferte und nach Bedürfnis transformierte hin- und herpulsierende Strom kann ebensogut wie ein Gleichstrom unmittelbar zum Betriebe von Bogen- und Glühlampen verwendet werden. Behufs Kraftüber-