
1. Einleitung	9
2. Physikalische und technische Grundlagen	11
2.1 Elektromagnetische Kraftwirkung	11
2.1.1 Polregel.....	11
2.1.2 Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld	13
2.1.3 Kraft auf eine stromdurchflossene Spule im Magnetfeld	15
2.1.4 Polregel oder Lorentzkraft?	16
2.2 Eigenschaften einer Spule	17
2.2.1 Ein- und Ausschalten einer Spule.....	17
2.2.2 Spule im Wechselstromkreis	18
2.3 Induktion	19
3. Unterteilungen von Elektromotoren	21
4. Fremdgeführte Motore.....	24
4.1 Unterscheidung synchron und asynchron	24
4.1.1 Prinzip der Synchronmotore.....	24
4.1.2 Prinzip der Asynchronmotore.....	26
4.2 Der Schrittmotor – ein Synchronmotor	29
4.2.1 Theorie des Schrittmotors.....	29
4.2.2 Modell eines Schrittmotors.....	31
4.3 Der Drehstrommotor	33
4.3.1 Theorie des Drehstrommotors	33
4.3.2 Modell eines asynchronen Drehstrommotors	37
4.4 Der Kondensatormotor	41
4.4.1 Theorie des Kondensatormotors	41
4.4.2 Modell eines Kondensatormotors	44
4.5 Der Spaltpolmotor	45
4.5.1 Theorie des Spaltpolmotors	45
4.5.2 Modell eines Spaltpolmotors	47

5. Selbstgeführte Motore	50
5.1 Motor mit automatischem Stromunterbrecher.....	50
5.1.1 Theorie des Stromunterbrechermotors.....	50
5.1.2 Einfachster Motor der Welt	52
5.1.2.1 EMW mit Alltagsbauteilen.....	52
5.1.2.2 EMW als Demonstrationsgerät.....	55
5.1.2.3 EMW-Bausatz von Opitec.....	56
5.1.2.4 EMW-Bausatz von Traudl-Riess	57
5.1.3 Styropormotor.....	58
5.1.4 Weitere Bausätze für Schüler	60
5.1.4.1 Stieglermotor von Riess.....	60
5.1.4.2 Sternmotor	62
5.1.4.3 Riess-Reedkontaktmotor (vertikal).....	63
5.1.4.4 Riess-Reedkontaktmotor (horizontal).....	64
5.1.4.5 Opitec-Reedkontaktmotor.....	66
5.2 Motor mit Stromwender	67
5.2.1 Theorie des Stromwendermotors.....	67
5.2.2 Modelle der Lehrmittelfirmen	70
5.2.2.1 Spule mit Handkommutator.....	70
5.2.2.2 Modelle mit Dauermagnet und Doppel-T-Anker.....	71
5.2.2.3 Modelle mit Dauermagnet und Trommelanker.....	74
5.2.2.4 Modelle mit Elektromagnet	75
5.2.3 Bausätze für Schüler	80
5.2.3.1 Eschke-Motor	80
5.2.3.2 Elektromotor mit fertigem Läufer.....	82
5.2.3.3 Riess-„Construction“-Elektromotor.....	83
5.2.3.4 Opitec-Elektromotor	85
5.2.3.5 Opitec-Elektromotor (Premium Line).....	86

6. Unipolarmotore	88
6.1 Rotationsapparat nach Faraday	88
6.1.1 Theorie des Faradaymotors	88
6.1.2 Modell mit drehendem Leiter	90
6.2 Barlow-Rad	92
6.2.1 Theorie des Barlow'schen Rades.....	92
6.2.2 Der „einfachste Elektromotor“	93
6.2.3 Rotierendes Wasser	96
6.3 „Rollende Achse“ und „Rollende Batterie“	96
6.3.1 Physikalische Betrachtung.....	96
6.3.2 Versuch „Rollende Achse“	101
6.3.3 Versuch „Rollende Batterie“	102
7. Glossar	105
8. Nachwort	108
9. Literaturverzeichnis	109

1. Einleitung

Ein Leben ohne die Hilfe von Elektromotoren kann man sich kaum mehr vorstellen. Wir verwenden sie jeden Tag und sind uns dessen meist gar nicht bewusst. Wer denkt schon beim Vibrieren des Mobiltelefons, beim Einlegen einer CD oder beim Einsteigen in die Straßenbahn an einen Elektromotor?

Was ist ein Elektromotor? Die Antwort auf diese Frage scheint auf den ersten Blick ganz einfach. Stellt man allerdings diese Frage, so erhält man unterschiedliche Antworten, die meist einer passenden Definition fern sind. In Wikipedia findet sich für den Begriff Motor folgende Definition: „*Ein Motor (lat. mo-tor, „Beweger“ [...]) ist eine Vorrichtung, die mechanische Arbeit verrichtet, indem sie verschiedene Energieformen, zum Beispiel thermische Energie, chemische Energie oder elektrische Energie, umwandelt.*“ Damit wären im engsten Sinne der Definition auch ein Elektromagnet oder der Wagner'sche Hammer, bekannt als Klingel, ein Elektromotor. Dieses Buch konzentriert sich auf Maschinen, die einen rotierenden Läufer besitzen und somit der Alltagsvorstellung des Elektromotors am Nächsten kommen. Dabei finden kontinuierliche Bewegungsabläufe statt, die sich periodisch wiederholen. Linearmotoren, die nächsten Verwandten der rotierenden Elektromotoren, werden nicht berücksichtigt.

In der Schule wird bei der Behandlung des Elektromotors meist nur der Gleichstrommotor mit Stromwender (siehe Kapitel 5.2) vorgestellt. Dafür sind drei Gründe denkbar: 1. Es könnte daran liegen, dass die „*von Kindern und Jugendlichen verwendeten Spielzeugmotoren in der Regel Gleichstrommotoren sind*“ (Volkmer, 1998, S. 102). Allerdings sind das insgesamt nicht die am meisten benutzten Motoren; das sind die Asynchronmotoren (siehe Kapitel 4.). 2. Man findet keine andere Anwendung der Drei-Finger-Regel für die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter. Dabei gäbe es da bessere Beispiele, wie die Unipolarmotoren (siehe Kapitel 6.). 3. Man möchte auch technische Prinzipien unterrichten und findet dies darin, wie der Läufer selbst abhängig von seiner Position den Strom steuert.

Dieses Buch möchte zeigen, dass das Thema „Elektromotor“ vielschichtiger ist und mehr Möglichkeiten bietet, als es Schulbücher erahnen lassen. So sollen viele Möglichkeiten und Alternativen aufgezeigt werden. Außerdem soll deutlich werden, dass man Elektromotoren an ganz anderen Stellen in der Schulphysik thematisieren kann, etwa schon bei der Anziehung von Magneten oder später bei der Induktion.

Im 2. Kapitel dieses Buches werden zuerst elementare physikalische und technische Grundlagen betrachtet, die bei der Behandlung des Elektromotors

eine wichtige Rolle spielen. Dies beinhaltet die elektromagnetische Kraftwirkung, die Induktion sowie Wechselstromeigenschaften von Spulen. Beim klassischen Gleichstromstromwendermotor werden je nach Schulart und Bundesland als Erklärung die Polregel (z.B. bayerische Hauptschule) oder die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter (z.B. bayerisches Gymnasium) oder beides (z.B. bayerische Realschule) angegeben. Es wird gezeigt, dass beide Erklärungen äquivalente Ergebnisse liefern, wobei aber die Polregel viel verständlicher und einfacher ist.

Im Kapitel 3 werden verschiedene Möglichkeiten gezeigt, wie man Elektromotore kategorisieren kann und die weitere Gliederung des Bandes wird erläutert. In den Kapiteln 4 bis 6 werden dann die einzelnen Motorarten und deren Funktionsweisen vorgestellt. Weiterhin werden technisch-wirtschaftlich relevante Eigenschaften dargestellt sowie Möglichkeiten für die Verwendung im Physikunterricht einschließlich einfacher Schulexperimente aufgezeigt.

Insgesamt wird ein Überblick über die Versuchsaufbauten und Bausätze gegeben, die im Unterricht erstellt werden können. Dabei werden die großteils fertigen Motormodelle, die von Lehrmittelfirmen für Demonstrationsversuche angeboten werden, nur kurz und beispielhaft vorgestellt. Stärker betont werden Modelle, die Schüler selbst erstellen können – entweder mit einfachen Standardgeräten der Schulphysiksammlung, mit Bausätzen, die es speziell für diesen Zweck zu kaufen gibt, oder mit einfachen Haushaltsmitteln, so genannte „Low Cost – High Tech – Experimente“. Es werden Hinweise zu Materialbedarf, Kosten, Bauzeit, Schwierigkeiten etc. gegeben. Die Darstellung vieler verschiedener Bausätze soll als Entscheidungshilfe und als kleine Anleitung für den Aufbau der angeführten Modelle dienen.

Das Glossar dient als Nachschlagewerk für spezielle Fachbegriffe, die im Zusammenhang mit den Elektromotoren stehen. Damit der Text lesbar bleibt, ist von „Lehrern“ und „Schülern“ die Rede (gelegentlich auch im Singular). Dass diese Personengruppen jeweils aus Frauen und Männern, Mädchen und Jungen bestehen, wurde überall mit bedacht.