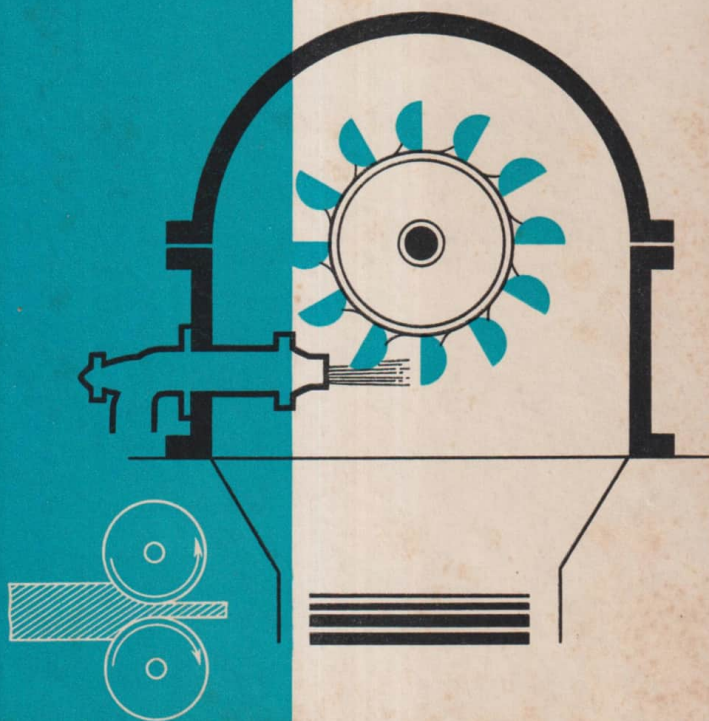


W. F. JUSKOWITSCH · L. I. RESNIKOW · A. S. JENOCROWITSCH

Die polytechnische Bildung im Physikunterricht



W. F. JUSKOWITSCH · L. I. RESNIKOW · A. S. JENOSCHOWITSCH

Die polytechnische Bildung im Physikunterricht

EIN HANDBUCH FÜR LEHRER

Deutsche Bearbeitung von Erich Fuchs, Peter Taplick,
Wolfgang Färber und Günter Hoffmann
mit 124 Abbildungen



VOLK UND WISSEN VOLKSEIGENER VERLAG BERLIN

1961

Titel der Originalausgabe:

**В. К. Юськович, Л. И. Резников, А. С. Енохович .
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОЕ ОБУЧЕНИЕ В ПРЕПОДАВАНИИ ФИЗИКИ
ПОСОБИЕ ДЛЯ УЧИТЕЛЕЙ**

Übersetzer: Hermann Meyer

Umschlag: Günther Klaus

**Bestell-Nr.: 02032-1 · Lizenz-Nr.: 203 · 1000/60/E
Gesamtherstellung: VEB Druckhaus „Maxim Gorki“, Altenburg**

VORWORT ZUR DEUTSCHEN AUSGABE

Die enge Verbindung zwischen Unterricht und gesellschaftlicher Praxis ist das wesentlichste Merkmal der Methodik in der sozialistischen Schule. Einen wichtigen Beitrag dafür kann der richtig gestaltete Physikunterricht liefern. Deshalb muß es ein Hauptanliegen des Physiklehrers sein, sich volle Klarheit über den Inhalt und den Umfang der polytechnischen Bildung im Physikunterricht zu verschaffen. Dieses Buch kann ihm dabei eine wertvolle Hilfe sein.

Die sowjetischen Verfasser bringen in einer klar gegliederten Darstellung umfangreiches Material und berücksichtigen die Erfahrungen vieler Lehrer. Sie zeigen zunächst, welche Grundprinzipien im Physikunterricht zu beachten sind, damit er die Grundlagen für die polytechnische Bildung liefern kann. Im Hauptteil dieses Buches werden zahlreiche Hinweise für die stoffliche und methodische Behandlung der einzelnen Stoffgebiete gegeben. Im dritten Teil wird auf Organisationsformen des Unterrichts und auf Verfahren eingegangen, die besonders geeignet sind, die polytechnische Bildung zu unterstützen. Im Anhang werden Verzeichnisse für technische Anwendungen, Demonstrationsversuche sowie praktische Kenntnisse und Fertigkeiten gebracht, mit denen die Schüler vertraut gemacht werden sollten. Von den Bearbeitern wurden Hinweise auf deutsche Literatur angefügt.

Selbstverständlich lehnt sich dieses Buch an den sowjetischen Lehrplan an. Aber mühelos kann der deutsche Leser die genannten Beispiele auf den in der polytechnischen Oberschule gültigen Lehrplan übertragen. Es ist auch zu beachten, daß die Originalausgabe 1957 erschien, so daß diese Übersetzung die stürmische technische Entwicklung der Sowjetunion in den letzten drei Jahren nicht in vollem Umfange widerspiegeln kann. In diesem Zeitraum haben besonders die Automatisierung, die Anwendung der Halbleiter und der Weltraumflug bedeutende Fortschritte erzielt.

Es ist zu begrüßen, daß dieses Buch besonders auf Probleme der Energiewirtschaft eingeht und die Landtechnik einen breiteren Raum einnimmt. Vielfach kann der Physiklehrer nützliche Vergleiche zwischen der ökonomischen Struktur der Sowjetunion und der der Deutschen Demokratischen Republik ziehen. Es dürfte ihm bekannt sein, daß durch die Großbauten des Kommunismus die reichlich zur Verfügung stehenden Wasserkräfte genutzt werden. Aber dennoch liefern die Wasserkraftwerke nur einen geringen Teil der elektrischen Energie. Die Hauptanstrengungen liegen gegenwärtig beim Bau von Wärmekraftwerken mit Dampfturbinen gewaltiger Leistungen,

damit die Kapitalinvestitionen im Siebenjahrplan am wirksamsten ausgenutzt werden.¹ Die billige Elektroenergie läßt auch den Einsatz von Elektrotraktoren und die elektrische Beheizung von Treibhäusern zu. Ein wichtiges volkswirtschaftliches Problem in der UdSSR ist weiterhin die Energieversorgung der Kolchosen. Große Erfolge wurden bei der Umstellung des Eisenbahnbetriebes auf Elektro- und Diesellokomotiven erreicht.

Dieses Buch enthebt den Physiklehrer aber nicht der Pflicht, sich tiefergehende Fachkenntnisse durch das Studium der einschlägigen Fachliteratur zu verschaffen. Allerdings können die ihm hier gegebenen Anregungen dazu dienen, seine Weiterqualifikation zielgerichteter zu gestalten. Er wird sich besonders bemühen, eine enge Verbindung zwischen seinem Fachunterricht und dem Unterrichtstag in der sozialistischen Produktion herzustellen. Auch hierfür kann er in diesem Buch Hinweise finden, obgleich auch in dieser Richtung in der Sowjetunion alles noch im Flusse ist und gerade in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte erzielt wurden.

Die deutsche Ausgabe enthält die gleiche Bildausstattung wie die sowjetische, da der Verlag „Издательство академии педагогических наук РСФСР“ freundlicherweise die Originalzeichnungen zur Verfügung stellte. Von den Bearbeitern wurden einige Streichungen vorgenommen, die den Wert des Buches in keiner Weise mindern. Es handelt sich dabei um technische Daten im Anhang, die sich auf sowjetische Fahrzeuge und Maschinen beziehen oder in ähnlicher Form in unseren Physiklehrbüchern der polytechnischen Oberschule zu finden sind. Außerdem wurde auf eine ausführliche Beschreibung der Dampfkraftanlage LPU-1 verzichtet, die bei uns auch nicht in einer ähnlichen Form eingesetzt wird. Desgleichen entfiel das umfangreiche Literaturverzeichnis, da diese Literatur dem deutschen Leser im allgemeinen nicht zur Verfügung steht. An diese Stelle treten Hinweise auf deutsche Veröffentlichungen.

Die Fußnoten der deutschen Bearbeiter sind kursiv gesetzt, damit sie sich von denen der Originalausgabe unterscheiden. Die Formelzeichen entsprechen DIN 1304.

Erich Fuchs

¹ Vergleiche hierzu: N. S. Chruschtschow, Über die Kontrollziffern für die Entwicklung der Volkswirtschaft der UdSSR in den Jahren 1969 bis 1985. Rede auf dem XXI. Parteitag der KPdSU.

INHALTSVERZEICHNIS

Vorwort	9
Einleitung	10
I. Aufgaben und Ziele bei der Verwirklichung der polytechnischen Bildung im Physikunterricht	15
1. Die Umwandlung der Energie — Die physikalischen Grundlagen der Energiewirtschaft	15
2. Die Energieübertragung	16
3. Die Einführung in die Grundlagen der wichtigsten Maschinen	17
4. Die Behandlung landwirtschaftlicher Maschinen	18
5. Die wichtigsten Produktionsprinzipien	21
6. Die Aneignung praktischer Kenntnisse und Fertigkeiten	22
II. Stoffliche und methodische Betrachtungen zur polytechnischen Bildung im Physikunterricht	25
Sechste und siebente Klasse	26
1. Die Kraft und ihre Messung	26
2. Der Heizwert der Brennstoffe — Die Sonne als Energiequelle der Erde	27
Achte Klasse	29
1. Die Zusammensetzung und die Zerlegung der Kräfte	29
a) Drehmoment und Momentensatz	29
b) Schwerpunkt eines Körpers	35
c) Kräfteparallelogramm — Einfache kraftumformende Einrichtungen	40
2. Die mechanische Energie	46
a) Potentielle und kinetische Energie	46
b) Zugkraft eines Motors	48
c) Mechanischer Stoß	50
Neunte Klasse	53
1. Die Übertragung der Drehbewegungen	53
a) Reibradtrieb	53
b) Riementrieb	54
c) Zahnradtrieb	56

2. Die Strömungslehre	65
a) Strömende Flüssigkeiten und Gase	65
b) Strömungswiderstand und aerodynamischer Auftrieb	67
c) Kinetische Energie des fließenden Wassers und des Windes	71
3. Die technische Ausnutzung der plastischen Eigenschaften der Metalle	77
4. Die Wärmekraftmaschinen	82
a) Dampfkessel	82
b) Kolbendampfmaschine	86
c) Dampfturbine	89
d) Verbrennungsmotor	94
e) Gasturbine	98
f) Anwendung der Verbrennungsmotoren in der Volkswirtschaft	102
5. Die Fernheizung	103
Zehnte Klasse	111
1. Der Wechselstrom	111
a) Drehstromgenerator und Asynchronmotor	111
b) Elektrifizierung in der UdSSR	118
c) Wärme-, Wasser- und Windkraftwerke	131
d) Elektrische Energieversorgung	136
e) Anwendung der Elektromotoren in der Volkswirtschaft	140
2. Das elektromagnetische Relais und das Fotorelais	145
3. Die Ausnutzung der Kernenergie für friedliche Zwecke	151
a) Kernkraftwerke und Kernantriebe	153
b) Radioaktive Isotope in der Wissenschaft und der Technik	161
III. Einige Fragen der unterrichtlichen und der außerunterrichtlichen Arbeit	166
1. Anwendungsaufgaben	166
2. Schülerübungen	173
3. Exkursionen	174
4. Außerunterrichtliche Arbeit	191
IV. Anhang	195
1. Verzeichnis technischer Anwendungen der Physik	195
2. Verzeichnis von Demonstrationsversuchen, die praktische Anwendungen in der Physik zeigen	206
3. Praktische Kenntnisse und Fertigkeiten, die die Schüler im Physikunterricht erwerben sollen	209
4. Hinweise auf deutsche Literatur	211

VORWORT

Das vorliegende Buch soll dem Lehrer helfen, die polytechnische Bildung im Physikunterricht zu verwirklichen. Er soll auf Grund dieser Ausführungen erkennen, daß ein richtig durchgeführter Physikunterricht dazu in der Lage ist, wenn die Schüler mit Anwendungen aus der Industrie und aus der Landwirtschaft sowie der Energiewirtschaft und dem Transportwesen vertraut gemacht werden.

Dieses Buch enthält eine reichhaltige Stoffsammlung technischer Anwendungen, die im Zusammenhang mit bestimmten Lehrplanabschnitten der 6. bis 10. Klasse behandelt werden können. Die ausgewählten Stoffabschnitte sollen dabei als Beispiele dienen. Hierbei müssen wir Wert darauf legen, daß die Schüler die physikalischen Grundlagen erkennen, die dem Aufbau und der Wirkungsweise verschiedener Maschinen und technischer Anlagen zugrunde liegen, die in der Industrie und in der Landwirtschaft, im Transport- sowie im Post- und im Fernmeldewesen verwendet werden. Dadurch werden die physikalischen Kenntnisse der Schüler gefestigt und vertieft. Sie können die Maschinenkunde und die Elektrotechnik leichter verstehen, ihr polytechnischer Gesichtskreis wird erweitert, und sie werden besser auf ihre praktische Tätigkeit vorbereitet.

Keineswegs soll der Schüler dieses gesamte Material beherrschen. Was die Forderungen des Physiklehrplans übersteigt, kann vom Lehrer zur Illustration im Unterricht und bei Betriebsbesichtigungen herangezogen werden.

Im Anhang bringen wir eine Übersicht physikalischer Anwendungen in der Technik. Die Auswahl der Beispiele erfolgte auf Grund des sowjetischen Lehrplans für die einzelnen Klassen. Diese Übersicht soll als didaktische Hilfe für den Lehrer zur Vorbereitung auf den Unterricht und auf die außerunterrichtliche Arbeit dienen.

Neben der Stoffsammlung, die ausschließlich für den Unterricht gedacht ist, bringen wir auch Anwendungen für die außerunterrichtliche Arbeit. Der Stoff, der zur Orientierung des Lehrers dienen soll, ist durch Kleindruck gekennzeichnet. In einzelnen Fällen können davon auch ein bis zwei Beispiele im Unterricht herangezogen werden.

Bei der Vorbereitung der vorliegenden Auflage haben wir die Erfahrungen zahlreicher Lehrer im polytechnischen Unterricht und kritische Bemerkungen zu den bisherigen Auflagen dieses Buches berücksichtigt.

EINLEITUNG

In der Sowjetunion sind wir Zeugen eines gewaltigen wissenschaftlichen und technischen Aufschwungs. Leistungsfähige Wasserkraftwerke wurden an der Wolga, am Dnepr, an der Kama, am Ob, am Jenissei und an der Angara errichtet oder sind noch im Bau. In zunehmendem Maße erfolgt die Elektrifizierung der gesamten Industrie und Landwirtschaft. Große Erfolge sind bei der Mechanisierung industrieller und landwirtschaftlicher Produktionsprozesse erreicht worden. Das gleiche gilt auch für das Transportwesen. In steigendem Maße wendet man die Steuerungs- und Regelungstechnik an. Des weiteren wächst die Anzahl der verschiedenartigsten Maschinen, die die Arbeit der Kollektivbauern und der Industriearbeiter erleichtern. Die Elektrifizierung, die Mechanisierung und die Automatisierung der Produktionsprozesse führen zur Steigerung der Arbeitsproduktivität, so daß sich der materielle Wohlstand des sowjetischen Volkes ständig erhöht.

Auf dem XX. Parteitag der KPdSU wurde darauf hingewiesen, daß die entscheidende Voraussetzung für ein weiteres Steigen der industriellen Produktion der kontinuierliche technische Fortschritt ist.

Um die mannigfaltige Technik rationell auszunutzen und sie weiterentwickeln zu können, müssen zahlreiche Kader herangebildet werden. Dabei kommt der sowjetischen Mittelschule die wichtige Aufgabe zu, den jungen Menschen eine gute polytechnische Bildung zu vermitteln. Bei richtiger Gestaltung des polytechnischen Unterrichts wird die Schule diese Aufgabe auch zweifellos lösen.

Mit Beginn des Schuljahrs 1953/54 wurde in der sowjetischen Oberschule ein Lehrplan eingeführt, der die Probleme des polytechnischen Unterrichts allein durch Anwendungsbeispiele aus der Technik in Mathematik, Physik, Chemie, Biologie, Geographie und im Zeichnen lösen sollte. Dieses Vorhaben stellte sich jedoch als unzureichend heraus. Nach wie vor erwarben die Schüler keine technische Bildung im richtigen Sinne, da die praktischen Kenntnisse und Fertigkeiten fehlten. Es erwies sich als notwendig, in den Lehrplan praktische Übungen in Schulwerkstätten sowie Praktika in Maschinenkunde und Elektrotechnik aufzunehmen. Aber auch dadurch wurden die Schüler noch nicht gründlich genug in die Grundlagen der Produktion eingeführt. Sie wurden zu wenig auf ihre spätere praktische Tätigkeit und auf die Bedeutung der Arbeitsproduktivität vorbereitet.

Deshalb wurde auf dem XX. Parteitag der KPdSU folgender Beschluß gefaßt: „Zur schnelleren Verwirklichung der polytechnischen Bildung in der Schule sind nicht nur neue Unterrichtsfächer einzuführen, die die Grundlagen der Industrie und Landwirtschaft vermitteln, sondern auch die Schüler in Betrieben, Kolchosen, Sowchosen, Lehr- und Schulwerkstätten praktisch auszubilden.“¹

Der in einigen Versuchsschulen im Schuljahr 1956/57 eingeführte Lehrplan umfaßte: Grundlagen der Maschinenkunde (8. Klasse), Grundlagen der Produktion (9. Klasse), Behandlung des Kraftwagens und des Traktors (10. Klasse) und Grundlagen der Elektrotechnik (10. Klasse). Darüber hinaus nahmen die Schüler der oberen Klassen an Produktionspraktika in Betrieben, Sowchosen, MTS usw. teil.

Auf diese Weise wurde ein System der polytechnischen Bildung geschaffen, in dem die wissenschaftlichen Grundlagen — insbesondere die Physik — nach wie vor eine sehr große Rolle spielen. Dabei werden die Maschinenkunde, die Kraftfahrzeuge und die Elektrotechnik erst dann behandelt, wenn Mechanik, Wärmelehre und Elektrizitätslehre eingeführt worden sind. Das physikalische Grundlagenwissen ist die Voraussetzung für sichere Kenntnisse in der Maschinenkunde und in der Elektrotechnik.

Die Erfolge wichtiger Zweige der modernen Technik sind hauptsächlich durch die Forschungsergebnisse der Physik möglich. Als überzeugende Beweise können wir die Fortschritte der gegenwärtigen Luftfahrt durch den Strahltriebwerkeantrieb sowie den Bau sehr leistungsfähiger Wasser- und Dampfturbinen betrachten.

Die physikalischen Erscheinungen und Gesetze werden überall in der Energiewirtschaft, bei der Metallbearbeitung, im Maschinenbau sowie im Transport-, Post- und Fernmeldewesen angewandt. Ihre Behandlung ist ein Bestandteil des polytechnischen Unterrichts. Die Schüler müssen den engen Zusammenhang zwischen der wissenschaftlichen Theorie und den technischen Anwendungen erkennen. Die Kenntnisse und die Fertigkeiten, die die Schüler im Physikunterricht erwerben, sind für den polytechnischen Unterricht sehr wertvoll.

Obwohl gerade der Physikunterricht die wissenschaftlichen Grundlagen der industriellen und der landwirtschaftlichen Produktion vermittelt, wurden bisher zu wenig wichtige technische Anwendungen behandelt. Darüber hinaus wurde im Unterricht die Bedeutung der Physik für die Technik noch zu wenig herausgestellt.

Um eine ausreichende polytechnische Bildung zu gewährleisten, müssen wir vor allem den Inhalt des Physikunterrichts verändern. In den Lehrplänen und den Lehrbüchern fehlten bis vor kurzem eine ganze Reihe wesentlicher Themen, wie beispielsweise die Wasser- und die Windkraft-

¹ Resolution des XX. Parteitags der KPdSU, Gospolitizdat, 1956, Seite 18.

maschinen, der Drehstrom, die Arten der Elektrizitätswerke, die Übertragungsarten der Drehbewegung, der mechanische Stoß, die physikalischen Grundlagen der Umformtechnik sowie die Arbeitsweise und der Aufbau verschiedenartiger Relais. Wenn wir aber diese Themen nicht behandeln, fehlen den Schülern wesentliche Kenntnisse für das Verständnis der Energiewirtschaft sowie den Aufbau und die Wirkungsweise wichtiger Maschinen.

Es ist notwendig geworden, daß wir im Physikunterricht die wissenschaftlichen Grundlagen der Elektrifizierung und der Fernheizung, der Mechanisierung und der Intensivierung der Produktionsprozesse sowie die Steuerungs- und Regelungstechnik behandeln.

Bei verschiedenen technischen Anwendungen der Physik, wie beispielsweise bei der Behandlung der Kraftmaschinen, können wir die Wechselwirkung zwischen Theorie und Praxis, also zwischen Physik und Technik, besonders deutlich herausarbeiten.

Selbstverständlich erweitern die physikalischen Erscheinungen, Begriffe und Gesetze den polytechnischen Gesichtskreis der Schüler. Wir können viele physikalische Probleme in engem Zusammenhang mit ihren praktischen Anwendungen auf verschiedenen technischen Gebieten bringen. Die Bedeutung der Physik für die moderne Produktion müssen wir so darstellen, daß bei den Schülern ein dauerhaftes Interesse für dieses Fach erzielt wird, das zu einem aktiven, bewußten und konkreten Aneignen des Stoffes führt.

Das Anwendungsgebiet der Physik ist sehr umfangreich. Im Unterricht können wir nicht alle verschiedenartigen Maschinen, Maschinenteile und anderen technischen Einrichtungen behandeln. Die Aufgabe des Lehrers besteht darin, vor allem solche Beispiele herauszugreifen, die die Ausnutzung physikalischer Erscheinungen und Gesetze in den wichtigsten Zweigen der modernen Produktion veranschaulichen.

Wir sollten immer betonen, daß dieses oder jenes physikalische Gesetz nicht nur in der gerade behandelten Form, sondern viel weitgehender angewandt wird. Auf diese Weise lernen die Schüler die Bedeutung und den Wert eines bestimmten Gesetzes am konkreten Beispiel kennen und erwerben gleichzeitig ein umfangreiches Allgemeinwissen.

Wir erreichen durch die praktischen Anwendungen ein tiefgehendes Verständnis der Physik. Andererseits können diese Anwendungen nur verstanden werden, wenn die physikalischen Grundlagen bekannt sind. Das Beherrschen der physikalischen Vorgänge, die in bestimmten Maschinen ablaufen, und das Verstehen der Gesetzmäßigkeiten, die diesen Maschinen zugrunde liegen, sind ein wesentlicher Teil der polytechnischen Bildung. Wenn die Schüler den Aufbau und die Arbeitsweise einer Maschine erfaßt haben, besitzen sie die Grundlage für eine bewußte praktische Tätigkeit.

Diese Stufe der polytechnischen Bildung erreichen wir, wenn den Schülern im Unterricht Anschauungsmittel vorgeführt werden, die den Aufbau und die Wirkungsweise einfacher und komplizierter Maschinen demonstrieren.

Es kommen hierfür in Frage: physikalische Geräte, Funktionsmodelle, die Maschinen und Maschinenteile selbst, Schemata, Tabellen, Diapositive und Filme. Ohne eine derartig anschauliche Behandlung läßt sich bei den Schülern weder ein Interesse für die besprochenen Probleme erwecken noch ein gutes Wissen erzielen.

Wir müssen den Schülern Kenntnisse vermitteln und ihr Denken fördern. Der Lehrer kann die Entwicklung des wissenschaftlich-technischen Denkens der Schüler fördern, wenn er ihnen die Fähigkeit aneignet, daß sie an den Maschinen *die wesentlichen und typischen Funktionsteile und deren Aufgaben* erkennen.

Die allgemeinen Gesichtspunkte beim Aufbau und Arbeiten vieler Maschinen können wir beispielsweise bei den Wasser- und den Luftpumpen, bei hydraulischen Pressen und Verdichtern behandeln. Bei diesen Maschinen ist leicht einzusehen, daß Zylinder, Kolben, Ventile und Flüssigkeiten oder Gase als Energieträger notwendig sind, und daß die Arbeit durch die Kompression von Gasen oder das Verdrängen von Flüssigkeiten verrichtet wird.

Ebenso können wir das Gemeinsame, die Wirkung des hydrostatischen Druckes und des Auftriebs zeigen, wenn wir die Wasserleitung, das Flüssigkeitsmanometer, Schiffe und Unterseeboote, das Luftschiff und den Ballon behandeln. Hebel, schiefe Ebene, Schraube, Keil und die Übertragungsarten der Drehbewegungen beruhen auf der Goldenen Regel der Mechanik, die besagt, daß die Arbeit ihrem Wert nach erhalten bleibt.

Viele gemeinsame Züge gibt es auch bei den elektrischen Generatoren und den Elektromotoren, den Transformatoren und anderen elektrischen Betriebsmitteln.

Neben den gemeinsamen Gesichtspunkten einzelner Maschinen müssen wir aber auch die Unterschiede gegenüberstellen. Beispielsweise müssen wir die Unterschiede in der Konstruktion der Dampfmaschine und des Verbrennungsmotors, des Verbrennungsmotors und der Strahltriebwerke, der Dampf- und der Gasturbine, des Reibrad- und des Riementriebs, des Generators und des Gleichstrommotors, des Elektromotors mit Reihen- und desjenigen mit Parallelanregung herausstellen.

Sehr wichtig für die Erweiterung des polytechnischen Gesichtskreises und für die allgemeine Entwicklung der Schüler ist es, wenn ihnen die Anwendungen einer bestimmten Maschine oder eines bestimmten Geräts in den verschiedenen Zweigen der Technik gezeigt wird. So wird beispielsweise der Keil für viele Verbindungen bei Maschinen und Geräten verwendet. Die Dampfmaschine finden wir bei Dampflokomotiven, -schiffen und stationären Dampfkraftanlagen. Der Verbrennungsmotor wird im Kraftwagen, Traktor, Mähdrescher, Flugzeug, Panzerfahrzeug, Motorrad und in der Diesellokomotive angewandt. Der Elektromotor betreibt Werkzeugmaschinen, Bagger, Oberleitungsbusse, Straßenbahnwagen, Rolltreppen, Elektroloks und viele andere Anlagen und Fahrzeuge.

Eine derartige Betrachtungsweise lehrt die Schüler, die gemeinsamen Gesichtspunkte und Unterschiede der verschiedenen Anwendungen physikalischer Erscheinungen in der Technik zu suchen und zu entdecken. Diese Methode hilft ihnen bei ihrer künftigen praktischen Tätigkeit, wenn sie eine Maschine sicher bedienen wollen. Dadurch wird am besten das wissenschaftlich-technische Denken der Schüler gefördert.

Praktische Kenntnisse und Fertigkeiten sind besonders wichtig beim Messen physikalischer Größen (richtiger Gebrauch der Meßgeräte und Beherrschung der Meßverfahren) sowie beim Umgang mit Verbrennungsmotoren, Elektromotoren, elektrischen Geräten und anderen weitverbreiteten Maschinen und Apparaten. Die Schüler müssen solche Geräte wie Voltmeter, Amperemeter und Widerstände fachgerecht verwenden können. Dazu gehört auch das richtige Anlassen eines Elektromotors. Aus Sicherheitsgründen müssen wir die Schüler daran gewöhnen, daß sie erst dann an einen Stromkreis die Spannung legen, wenn sie diesen sorgfältig überprüft haben.¹ Die Schüler müssen sich auch daran gewöhnen, daß sie sich beim Einschalten elektrischer Geräte vorher überlegen, welche Höchstspannung ungefähr zulässig ist, damit die Geräte nicht überlastet werden. Wesentlich ist auch die richtige Einschätzung der Meßgenauigkeit eines Meßgeräts. Alle derartigen Fähigkeiten und Fertigkeiten verbessern wesentlich die Qualität praktischer Arbeiten.

Die Exkursionen vermitteln einen guten Einblick in die moderne Produktion, wenn sie richtig vorbereitet, durchgeführt und ausgewertet werden. Näheres hierzu finden wir auf den Seiten 174 bis 191.

Bisher lenkten viele Lehrer die Aufmerksamkeit der Schüler auf die sogenannte „Physik des Alltags“, die uns zu Hause und unterwegs begegnet. Dies soll auch weiterhin geschehen. Daneben müssen wir die Schüler anleiten, daß sie die technischen Einrichtungen (Kraftwagen, Motorrad, Traktor, landwirtschaftliche Maschinen, Bagger, Planierdraupe, Hebekran usw.) mit anderen Augen als bisher betrachten können. In diesem Rahmen werden wir die Arbeitsgemeinschaften besonders fördern.

Obwohl die Exkursionen und die physikalischen Arbeitsgemeinschaften eine wichtige Rolle spielen, wird der Physiklehrer hauptsächlich im Klassenunterricht zur polytechnischen Bildung beitragen. Deshalb ist es notwendig, daß er ständig Verbindungen zur Technik herstellt, damit das Niveau der polytechnischen Bildung erhöht wird.

¹ Die Schaltung sollte vorher noch vom Lehrer abgenommen werden, wenn mit Spannungen über 42 V gearbeitet wird, oder wenn bei niedrigen Spannungen die Zerstörung empfindlicher Geräte, zum Beispiel bei Meßgeräten mit empfindlichen Meßbereichen, möglich ist.

I. Aufgaben und Ziele bei der Verwirklichung der polytechnischen Bildung im Physikunterricht

1. Die Umwandlung der Energie — Die physikalischen Grundlagen der Energiewirtschaft

Jede Produktion beruht auf dem Umwandeln einer Energieform in eine andere. In den Elektrizitätswerken wird die elektrische Energie aus der chemischen Energie der Brennstoffe, der potentiellen Energie des Wassers, der kinetischen Energie des Windes oder der Kernenergie gewonnen. Das Roheisen und der Stahl werden in Hochöfen und Siemens-Martin-Öfen geschmolzen. Als Brennstoffe dienen dafür beispielsweise Koks oder Masut¹. Kupfer, Aluminium, Magnesium und andere Metalle werden durch elektrolytische Verfahren gewonnen. Auch in der mechanischen Produktion wendet man verschiedene Energieformen an, so beim Warm- und Kaltformen der Werkstoffe, beim Schneiden und bei anderen Verfahren der Materialbearbeitung.

Die gesamte Energetik beruht auf der praktischen Anwendung des wichtigsten Naturgesetzes, des Gesetzes von der Erhaltung und der Umwandlung der Energie. Im Physikunterricht haben wir viele Möglichkeiten, die theoretischen und praktischen Grundlagen der Energetik zu untersuchen.

Dies kann beim Behandeln der Strömungslehre in der 9. Klasse geschehen, wenn auf die Wasser- und Windkraftwerke eingegangen wird. In der Wärmelehre erklären wir in der 7. und 9. Klasse die Grundlagen der Wärmekraftmaschinen. In der 7. Klasse führen wir den Heizwert eines Brennstoffs und den Wirkungsgrad eines Ofens ein. Darüber hinaus werden die Schüler mit der Dampfmaschine, der Dampfturbine und dem Verbrennungsmotor vertraut gemacht. Schließlich behandeln wir die Bedeutung des Verbrennungsmotors für die Mechanisierung der Landwirtschaft (Traktor, selbstfahrender Mähdrescher, Kraftwagen). In der 9. Klasse untersuchen wir den Wirkungsgrad der Wärmekraftmaschinen und die Möglichkeiten seiner Erhöhung. Es ist dabei notwendig, auf die größere Wirtschaftlichkeit der Hochdruckturbinen hinzuweisen. In derselben Klasse behandeln wir auch die Strahl turbine und die Fernheizung. Diese Stoffabschnitte sind geeignet, die Schüler in die wichtigsten wissenschaftlichen Grundlagen der modernen Wärmewirtschaft einzuführen.

¹ Masut ist ein hochsiedender Rückstand bei der Destillation sowjetischen Erdöls.

Für die Industrie und die Landwirtschaft ist die Elektroenergie außerordentlich wichtig. Der Physiklehrplan nennt verschiedene Stoffeinheiten, die sich auf die Erzeugung und die Verwendung der Elektroenergie beziehen.

In der 7. Klasse besprechen wir das Prinzip des Gleichstrommotors sowie den Aufbau und die Arbeitsweise des Wechselstromgenerators und des Transformators. Weiterhin behandeln wir die Anwendungen der Elektroenergie in der Industrie, im Transportwesen und in der Landwirtschaft.

In der 10. Klasse dringen wir tiefer in die Elektrizitätslehre ein. Die Schüler lernen schrittweise die wichtigsten elektromagnetischen Erscheinungen, Begriffe und Gesetze kennen, so daß sie nunmehr die verschiedenartigen Ausführungsformen der elektrischen Geräte, der Generatoren und der Elektromotoren verstehen können. Einen Schwerpunkt bildet die Erzeugung, die Übertragung und die Verwendung elektrischer Energie. In diesem Zusammenhang ist es notwendig, daß wir die Schüler mit den verschiedenen Arten der Elektrizitätswerke (Wasser-, Wärme- und Kernkraftwerke) bekannt machen.

In der UdSSR ist das erste Kernkraftwerk der Welt in Betrieb genommen worden. Da die Anwendung der Kernenergie in der Technik eine große Zukunft hat, müssen wir die Schüler auch mit dieser Energiequelle vertraut machen.

Die Schüler werden besonders dann die physikalischen Grundlagen der Energiewirtschaft verstehen, wenn wir den Unterricht jederzeit anschaulich gestalten. Deshalb sind Demonstrationsversuche, Funktionsmodelle und Maschinen heranzuziehen sowie praktische Arbeiten und Exkursionen durchzuführen.

2. Die Energieübertragung

Wir können den Begriff der Energieübertragung einerseits ganz eng fassen, wenn wir an den Übertragungsmechanismus einer Maschine denken. Andererseits läßt er sich aber auch viel umfassender betrachten, wenn wir die Energieversorgung mit einbeziehen, wie sie beispielsweise bei der Elektroenergie vorliegt. Für die Volkswirtschaft sind rationelle Wege der Energieübertragung vom Erzeuger zum Verbraucher außerordentlich wichtig.

Im Physikunterricht befassen wir uns mit verschiedenen Arten der Energieübertragung. Dazu gehören die einfachen kraftumformenden Einrichtungen (Hebel, feste und lose Rolle, Wellrad, schiefe Ebene, Keil, Schraube) und die Riemen-, Zahnrad- und Reibradtriebe. Bei der Behandlung der Dampfmaschine sind der Aufbau und die Anwendung des Kurbeltriebes darzustellen. In der 10. Klasse beschäftigen wir uns mit der Übertragung elektrischer Energie durch Gleich- und Wechselstrom, wobei auf Transformatoren, Gleichrichter, Meßgeräte, Schalter und Relais mit eingegangen wird. Wenn wir die Erzeugung und die Ausstrahlung elektromagnetischer Wellen behandeln, kommen wir auf Kondensatoren, Induktionsspulen, Elektronenröhren, Antennen usw. zu sprechen. Aber auch Spiegel,

Prismen und Linsen können wir in diese Betrachtung einbeziehen, da sie die Ausbreitungsrichtung der Lichtenergie ändern; und die Fotozelle wandelt Lichtenergie in elektrische um.

Es ist ohne weiteres einzusehen, daß die zweckmäßige Bedienung einer Maschine Kenntnisse auf dem Gebiet der Energieübertragung voraussetzt.

3. Die Einführung in die Grundlagen der wichtigsten Maschinen

Im Physikunterricht lernen die Schüler den Antriebs-, den Übertragungs- und den Arbeitsmechanismus und damit die drei Hauptteile einer Maschine kennen. Diese Mechanismen finden wir auch bei jedem Fahrzeug, ob es sich nun um einen Kraftwagen oder einen Traktor, eine Dampf- oder eine Elektrolokomotive, ein Schiff oder ein Flugzeug handelt.

Unsere Aufgabe ist es, im Unterricht das physikalische Prinzip herauszustellen, das den Maschinen zugrunde liegt. Das ist auch bei den Maschinen notwendig, die später in der Maschinenkunde ausführlicher dargeboten werden, wie es beim Kraftwagen oder beim Traktor der Fall ist. Dadurch erhalten die Schüler umfangreiche und sichere Kenntnisse auf diesem Gebiet, und es wird eine gute Verbindung zwischen Theorie und Praxis hergestellt. Weiterhin wird den Schülern das umfassende Verständnis des Kraftwagens im Praktikum „Maschinenkunde“ erleichtert.

In der 7. Klasse lernen die Schüler den Aufbau und die Wirkungsweise des Verbrennungsmotors kennen. Sie können sich im Unterricht, bei Exkursionen und in Arbeitsgemeinschaften mit dem Kühlsystem des Kraftwagens oder des Traktors beschäftigen. Mit den Schülern der 9. Klasse besprechen wir die Wirkungsweise des Wechselgetriebes und des Vergasers.

Sehr eingehend müssen wir die Elektromotoren behandeln. In der 7. Klasse werden der Gleichstrommotor und der Wechselstromgenerator besprochen. Es bereitet keine große Mühe, auch den Gleichstromgenerator als Umkehrung des Gleichstrommotors zu zeigen.

In der 10. Klasse müssen Aufbau, Wirkungsweise und Verwendung der Gleichstromgeneratoren und der Elektromotoren untersucht werden. Zur Veranschaulichung können die Motoren der Elektrolok oder der Straßenbahn herangezogen werden. Die Schüler sollen diesen Stoff aber nicht isoliert aufnehmen. Hauptsächlich in der 10. Klasse — teilweise aber auch in der 7. Klasse — ist es deshalb notwendig, Zusammenhänge herauszuarbeiten. Möglichkeiten dazu bieten sich beispielsweise bei Wiederholungen und bei der Vorbereitung und der Auswertung von Exkursionen.

Das folgende Beispiel zeigt uns das Schema einer derartigen Wiederholung:

1. *Energiequellen*: Potentielle Energie des Wassers in einem Stausee, kinetische Energie des Windes, chemische Energie fester, flüssiger und gasförmiger Brennstoffe, elektrische Energie, Strahlungsenergie, Kernenergie.

2. *Kraftmaschinen*: Wasserturbine, Windrad, Dampfmaschine, Dampf- und Gasturbine, Verbrennungsmotor, Strahltriebwerk sowie Kernantrieb.
3. *Erzeugung, Übertragung, Verteilung und Verwendung elektrischer Energie*: Gleich- und Wechselstromgenerator, Transformator, Hochspannungsleitungen, elektrische Meßgeräte, Elektromotoren als Antriebsvorrichtungen. Die Elektrifizierung der UdSSR und ihre Bedeutung für die Mechanisierung und die Automatisierung der Produktion und für die Steigerung der Arbeitsproduktivität.

Fast alle genannten Probleme begegnen den Schülern in verschiedenen Stoffeinheiten des Physikunterrichts. Die vorgeschlagene Wiederholung systematisiert das Wissen. Die abschließenden Verallgemeinerungen lassen die Schüler Klarheit über den polytechnischen Wert der erworbenen Kenntnisse bekommen.

4. Die Behandlung landwirtschaftlicher Maschinen

Besonders der Physiklehrer an einer Landschule hat die wichtige Aufgabe, die Schüler mit der Mechanisierung und der Elektrifizierung in der Landwirtschaft vertraut zu machen.

Die physikalischen Gesetze gelten allgemein für alle Erscheinungen, wo sie auch immer auftreten mögen, ob in der Natur oder in der Technik, ob in der Industrie oder in der Landwirtschaft. Bedauerlicherweise wird der Physikunterricht an vielen Landschulen losgelöst von der Technik der landwirtschaftlichen Produktion erteilt. Aus diesem Grund müssen die physikalischen Kenntnisse rein formalen Charakter haben. Das Anknüpfen an den Erfahrungskreis der Schüler auf dem Lande fördert erheblich das Interesse an den zu untersuchenden Objekten und unterstützt das Verständnis physikalischer Probleme. Darüber hinaus werden die Kenntnisse aktiver und dauerhafter sein.

Wie können wir im Unterricht den Schülern die physikalischen Grundlagen der Landwirtschaft am besten nahebringen? In der Physikmethodik gibt es auf diese Frage noch keine eindeutige und überzeugende Antwort. Einzelne Physiklehrer sammelten auf diesem Gebiet Erfahrungen. Betrachten wir deren Ergebnisse, so sehen wir, daß jeder Lehrer nach eigenem Ermessen bestimmte Probleme der landwirtschaftlichen Produktion behandelte. Die Anzahl der einzelnen Themen aus dem Gebiete der Landwirtschaft, die zur Behandlung innerhalb und außerhalb des Unterrichts vorgeschlagen wurden, ist beträchtlich. Die Lehrerin A. W. Usowa¹ (Tscheljabinsk), die dieses Problem speziell untersuchte, führt mehr als 130 verschiedene Anwendungsbeispiele aus der Landwirtschaft an, die ihrer Meinung nach in den Klassen 6 bis 10 unbedingt zu behandeln sind.

¹ A. W. Usowa: Elemente der Mechanisierung und der Elektrifizierung der Landwirtschaft im Physikunterricht der Schule. Physik i. d. Schule (russ.) 1953, Heft 4, S. 18 bis 20.

Auch andere Lehrer und Methodiker geben unter Hinweis auf ihre Erfahrungen an der Landschule eine umfangreiche Aufstellung landwirtschaftlicher Maschinen und Geräte, die sie im Physikunterricht behandelt wissen wollen. In diesen Aufstellungen treten auch komplizierte Maschinen auf, wie der Dieseltraktor, der Elektrotraktor, der Kraftwagen, der Schlepperantriebspflug, der Grubber, die Drillmaschine, die Kartoffelpflanzmaschine, der Mähdrescher, die selbstfahrende Grasmähmaschine, die Getreidemähmaschine, die Rübenvollerntemaschine, die Dreschmaschine, die Heupresse, die Saatgutreinigungsmaschine, die Rübenschneidemaschine, die elektrische Melkanlage u. a. Weiterhin wird empfohlen, die Schüler mit der Wasserversorgung der Kollektivwirtschaften, mit dem Bewässerungssystem, mit dem Dämpfen des Futters und anderem vertraut zu machen. Darüber hinaus wird vorgeschlagen, Maschinenelemente der einzelnen landwirtschaftlichen Maschinen zu behandeln: Achsen, Wellen, Lager, Räder, Kupplungen, Arten der Befestigungen (Bolzen, Schraube, Niet) usw. Wir müssen aber auch darauf achten, daß die Schüler der Landschule neben den genannten Anwendungen solche kennenlernen, die im Lehrplan für alle Schulen vorgesehen sind. Dies sind beispielsweise die Pumpen, das Barometer, das Manometer, die Dampfmaschine, der Widerstand, das Amperemeter, das Voltmeter, der Generator, der Elektromotor und der Transformator.

Wir erhalten auf diese Weise eine Fülle Stoff, der kaum gründlich genug behandelt werden kann. Deshalb sind wir gezwungen, eine Auswahl der wichtigsten und typischsten Maschinen und Geräte, die in der Landwirtschaft verwendet werden, zu treffen. Lassen wir uns dabei von dem Hinweis W. I. Lenins leiten, daß „... das polytechnische Prinzip *nicht* eine Ausbildung auf jedem Gebiet verlangt, sondern eine Ausbildung in den *Grundlagen* der modernen Industrie im allgemeinen“¹.

Das Bestreben, im Physikunterricht alle Anwendungsgebiete der Landwirtschaft zu erfassen, führt unvermeidlich zu einer oberflächlichen Darstellung durch einfache mündliche Beschreibungen.

Den Schülern der Landschule müssen wir die wichtigsten Probleme der Energiewirtschaft in der landwirtschaftlichen Produktion sowie die Hauptbestandteile der wichtigsten Maschinen erklären. Hierbei ist es erforderlich, den zu behandelnden Stoff für die drei Arbeitsformen, den Unterricht, die Exkursionen und die Arbeitsgemeinschaften, klar abzugrenzen. Ein und dieselbe Maschine kann während des Unterrichts, in der Arbeitsgemeinschaft oder während der Betriebsexkursion untersucht werden. Der Charakter dieser Untersuchung und seine Resultate werden sich jedoch voneinander unterscheiden.

Vor allem muß betont werden, daß das Verstehen vieler landwirtschaftlicher Geräte und Maschinen sichere Kenntnisse der physikalischen Grundlagen voraussetzt; dies bezieht sich auf die Mechanik, die Wärmelehre, die Elektrizitätslehre, die Optik und die Atomphysik. In diesem Zusammenhang

¹ W. I. Lenin: *Werke*, Band XXX, S. 149 (russ.).

genügt es, auf die wichtige Rolle radioaktiver Isotope, der „markierten Atome“, bei der Untersuchung pflanzlicher und tierischer Prozesse hinzuweisen.

Sehr großen Wert besitzen allgemeine praktische Kenntnisse und Fertigkeiten, die die Schüler im Physikunterricht erwerben. Auf dem Lande sind vor allem folgende Fertigkeiten nützlich:

Mechanik. Durchführen von Wägungen und Dichtebestimmungen, Messen von Zugkräften und Ermitteln von Leistungen.

Energetik. Abschätzen der Energie der Flüsse, des Windes, der Brennstoffe, des elektrischen Stromes und der Sonneneinstrahlung.

Wetterkunde. Bestimmen der Temperatur, des Luftdrucks und der Luftfeuchtigkeit.

Elektrizitätslehre. Umgang mit elektrischen Meßgeräten (Volt-, Ampere-meter und elektrischer Zähler) sowie Maschinen.

Optik. Handhabung des Mikroskops.

Aber auf diese allgemeinen praktischen Kenntnisse und Fertigkeiten, wie wertvoll sie auch sein mögen, dürfen wir uns nicht beschränken. Wir müssen den Schülern den Traktor mit Otto- oder Dieselmotor erklären, wobei wir auf die Arten der Zündung, der Kühlung und der Schmierung eingehen. Die Zugkraft und die Leistung der Traktoren können wir in den Klassen 6, 8 und 9 bringen. Bei der Behandlung der Wasser-, Wärme- und Windkraftwerke sprechen wir von der Wasser- und Dampfturbine sowie dem Generator in Verbindung mit diesen Turbinen. Dabei werden die Schüler mit der Erzeugung von Elektroenergie durch die Umwandlung der Energie des Wassers, des Brennstoffs und des Windes vertraut gemacht. Die Schüler lernen den Aufbau des Elektromotors und seine verschiedenen Anwendungen in der Landwirtschaft (Elektrotraktor, Dreschmaschine) kennen.

Die Verwendung der Maschinenelemente und der einfachen kraftumformenden Einrichtungen läßt sich an einer beliebigen landwirtschaftlichen Maschine, beispielsweise am Traktor oder an der Drillmaschine, zeigen. Als Beispiel einer Arbeitsmaschine können wir ein Bodenbearbeitungsgerät oder eine Erntemaschine, wie Pflug, Gras- oder Getreidemäher, erläutern.

Die Erklärung der Landtechnik muß von der Physik ausgehen. Wenn wir den Keil als einfache kraftumformende Einrichtung behandeln, lernen die Schüler einen Bestandteil landwirtschaftlicher Maschinen, der uns beim Pflug, bei der Getreidemähmaschine, bei der Egge, beim Grubber, bei der Kombe und sonst noch begegnet, kennen.

Die Anwendungen der Physik in der Landwirtschaft lassen sich auf verschiedene Weise untersuchen. Wir können diese bei der Einführung physikalischer Erscheinungen oder Gesetze als Ausgangssituation wählen. Sie erhöhen einerseits die Aufmerksamkeit und das Interesse am Stoff, andererseits sind sie ein Kriterium für die Gültigkeit der erarbeiteten physikalischen Gesetze, oder sie sind Anknüpfungspunkt für Anwendungsaufgaben. Die technischen Anwendungen können auch umfassendere Untersuchungs-

objekte darstellen, wie zum Beispiel der Verbrennungs- oder der Elektromotor, die Dampfmaschine oder die Lokomotive.

Um den Schülern einen Einblick in die Arbeitsweise der Landmaschinen und in landwirtschaftliche Produktionsprozesse zu geben, führen wir Besichtigungen durch. Als Anschauungsobjekte sind Traktoren, Kombines, Drill-, Dresch-, Saatgutreinigungs- und Melkmaschinen gut geeignet. Der Maschinenpark und die Werkstätten der MTS besitzen reichlich Besichtigungsobjekte, um das technische Wissen zu erweitern. Auch bei der produktiven Arbeit im Sommer können die Schüler praktische Fachkenntnisse und Fertigkeiten erwerben.

Die Erfahrungen vieler Physiklehrer zeigen, daß die außerunterrichtliche Arbeit bei der Aneignung der Landtechnik eine sehr große Rolle spielen kann. In den technischen Arbeitsgemeinschaften besteht die Möglichkeit, die für die Landwirtschaft wichtigen Maschinen auch bedienen zu lernen. Besonders wertvoll ist es, wenn ein enger Kontakt mit den Kolchosen, den Sowchosen und den MTS besteht.

5. Die wichtigsten Produktionsprinzipien

Im Physikunterricht werden von der 6. bis zu 10. Klasse die physikalischen Grundlagen behandelt, die für das Verständnis der modernen Produktion unbedingt erforderlich sind.

In den Klassen 7 und 10 lernen die Schüler die wesentlichen physikalischen Probleme der Elektrizitätslehre kennen. Dadurch können sie die vielseitigen Anwendungen der elektrischen Energie verstehen. Außerdem behandeln wir die Maßnahmen zur Elektrifizierung in der UdSSR, die die umfassende Verwendung der Elektroenergie in allen Zweigen der Produktion gestatten.

Die sowjetische Wissenschaft und Technik hat für die Entwicklung der Energetik einen beachtlichen Beitrag geliefert. In der Sowjetunion wurden Turbogeneratoren mit einer Leistung von 100 MW bis 200 MW gebaut. Das Problem der rationellen Übertragung der Elektroenergie über große Entfernungen wurde dadurch gelöst, daß man sehr hohe Wechselspannungen oder Gleichspannungen verwendet.

Mit Hilfe ihrer physikalischen Kenntnisse können die Schüler der 9. und der 10. Klasse beispielsweise den volkswirtschaftlichen Vorteil einer *Fernheizung* erkennen, der durch besseres Ausnutzen der Brennstoffe in den Wärmekraftwerken entsteht.

Gegenwärtig ist man in der UdSSR bestrebt, die Volkswirtschaft durch eine *komplexe Mechanisierung* der Produktionsprozesse weiterzuentwickeln. Als die wichtigste Grundlage der Mechanisierung ist die Elektrifizierung anzusehen.

Durch die Kenntnisse auf den Gebieten der Mechanik, der Wärmelehre, der Elektrizitätslehre und der Atomphysik können wir die bei der Mechani-

sierung verwendeten Energiequellen und die vielfältigen technischen Einrichtungen erklären, die die Grundlagen der *Mechanisierung* bilden.

Durch Anwenden der modernen Technik ist es möglich, die Produktion zu *intensivieren*, das heißt die Leistung der Maschinen zu steigern.

Im Physikunterricht können wir den Schülern über diese Produktionsprinzipien an Hand einiger Beispiele konkrete Hinweise geben. In der 9. Klasse berichten wir bei der Behandlung der Drehbewegung über die von sowjetischen Arbeitern erreichten Rekorde beim Schnelldrehverfahren.

Wenn wir den Verbrennungsmotor behandeln, sollten wir darauf hinweisen, daß man bestrebt ist, das Leistungsgewicht eines Kraftwagenmotors zu verringern, ohne daß darunter die Betriebssicherheit leidet. Weiterhin ist zu erwähnen, daß die sowjetischen Wissenschaftler versuchen, die Wirtschaftlichkeit des Ottomotors zu steigern. Dies läßt sich durch Vergrößern des Kompressionsgrads des Kraftstoff-Luft-Gemischs in den Zylindern des Motors erreichen. Bespricht man solche Überlegungen mit den Schülern, so erreicht man, daß sie sich für die Probleme der Entwicklung wichtiger Zweige in der Technik interessieren. Dadurch werden die Jungen und die Mädchen allmählich mit Problemen vertraut, die der Steigerung der Produktion dienen.

In der heutigen Produktion ist die *Automatisierung* technologischer Prozesse weit vorgeschritten. Bestimmte Elemente automatischer Einrichtungen — Thermorelais, elektromagnetisches Relais, Fotozelle — können wir mit den Schülern des 9. und des 10. Schuljahrs bei der Wärmeausbreitung in Körpern, beim Elektromagnetismus und beim fotoelektrischen Effekt besprechen.

6. Die Aneignung praktischer Kenntnisse und Fertigkeiten

Praktische Kenntnisse und Fertigkeiten erhalten die Schüler durch ihre aktive Teilnahme am Produktionsprozeß, das heißt bei der Erfüllung bestimmter Aufgaben. Durch Grundlehrgänge werden die Elemente der polytechnischen Bildung schrittweise herausgebildet, gefestigt und vertieft.

Das Handhaben einer Reihe von Werkzeugen und die Bedienung von Werkzeugmaschinen lernen die Schüler während der praktischen Tätigkeit in den Schulwerkstätten und in der Produktion kennen. Speziellere Fachkenntnisse und Fertigkeiten werden in der Berufsausbildung — in Kursen, in Berufsschulen, an Fachschulen oder an technischen Hochschulen — vermittelt.

Aber der Physikunterricht der Schule bietet ebenfalls die Möglichkeit, den Schülern verschiedene praktische Kenntnisse und Fertigkeiten zu vermitteln, die labor- und allgemeintechnischer Art sind. Sie sind für eine bewußte Aneignung physikalischer Kenntnisse erforderlich und die Voraussetzung dafür, sich später in den Grundlehrgängen „Maschinenkunde“ und „Elektrotechnik“ umfangreiche Fertigkeiten aneignen zu können.

Überall in der modernen Produktion ist es notwendig, eine gewisse Übung im Messen verschiedener physikalischer Größen zu besitzen, beispielsweise im Wägen und in der Messung von Längen, Kräften, Drücken, Temperaturen, elektrischen Strömen, Spannungen, Widerständen und Beleuchtungsstärken. Die Fertigkeiten für solche Messungen müssen im Physikunterricht erworben werden.

Die Durchführung einer Messung setzt Kenntnisse über Waagen, Thermometer, Thermoelemente, Amperemeter, Voltmeter, Kondensatoren, Wattmeter, elektrische Zähler, Fotometer, Spektrometer, Mikroskope und andere Geräte voraus. Damit die Schüler diese Geräte verwenden können, müssen wir von der 6. bis zur 10. Klasse entsprechende Schülerübungen durchführen.

Außerdem müssen wir die Schüler mit dem grundsätzlichen Aufbau gewisser technischer Anlagen vertraut machen. Hierzu führen wir kleine Montagearbeiten durch und lassen einfache technische Einrichtungen auseinandernehmen und wieder zusammensetzen.

Im folgenden seien einige Beispiele genannt:

6. Klasse: Festlegen der horizontalen und vertikalen Richtung, Umgang mit einfachen kraftumformenden Einrichtungen (Hebel, Rolle, Wellrad).

7. Klasse: Am Modell einer Dampfmaschine sind Zylinder, Kolben, Dampfsteuerung, Kolbenstange, Kreuzkopf, Pleuelstange und Schwungrad zu zeigen; am Modell des Verbrennungsmotors Zylinder, Kolben und Zündkerze. Zusammenstellen eines galvanischen Elements, Schalten eines elektrischen Stromkreises nach einem Schaltbild, Verwenden elektrischer Heizgeräte, Zusammenbau von Funktionsmodellen eines Elektromotors und eines Transformators aus Aufbauteilen.

8. Klasse: Verwenden eines Drehzahlmessers, Messen der Motorleistung, Bestimmen der Schwerpunkte einfacher Körper, Festigkeitsprüfungen.

9. Klasse: Kennenlernen des Aufbaus und der Wirkungsweise von Wasser- und Windkraftmaschinen, Inbetriebsetzen des Funktionsmodells einer Dampfkraftanlage; Kraftstoffaufnahme, Anlassen und Anhalten eines Verbrennungsmotors.

10. Klasse: Laden eines Akkumulators, Bestimmen der Art elektrischer Meßgeräte, Aufbau einer Schaltung nach einem gegebenen Schaltbild, Ändern der Meßbereiche eines Amperemeters durch Shunts und eines Voltmeters durch Vorwiderstände, Aufbau der Schaltung eines Fotorelais, Einschalten eines Wechselstrommotors in einen Stromkreis, Verwenden von Selen- und Röhrengleichrichtern, Erwerb praktischer Kenntnisse über den Aufbau sehr einfacher Relais, Benutzen eines Mikroskops, Umgang mit einem einfachen Spektrometer.

Gegenwärtig erlangen die elektronischen Geräte und Anlagen außerordentliche Bedeutung. Beispielsweise dient die Elektronenröhre zur Gleichrichtung von Wechselstrom sowie zur Anregung und Verstärkung elektrischer Schwingungen. Elektronenröhren werden weiter in Fernsehempfängern, Elektronenmikroskopen und Funkgeräten verwendet. Auch automatische Anlagen und Apparaturen zur Fernsteuerung enthalten elektronische Geräte.

Es liegt auf der Hand, daß in der sowjetischen Schule den Problemen der Elektronik eine größere Aufmerksamkeit als bisher gewidmet werden muß.

Um einen engen Zusammenhang zwischen der Physik und der Technik herzustellen, müssen entsprechende Anwendungsaufgaben gerechnet werden, da rein qualitative Beziehungen nicht ausreichen. Einige dieser Aufgaben seien hier genannt:

6. Klasse: Berechnung der Wichte eines Stoffes, des Drucks, des Kraftgewinns bei einfachen kraftumformenden Einrichtungen, der Arbeit und der Leistung.

7. Klasse: Zeichnen von grafischen Darstellungen über die Abhängigkeit der Temperatur von der Erwärmungszeit eines Körpers; Berechnung der Wärmemenge, die für die Erwärmung eines Körpers erforderlich ist; Berechnung der Wärmemenge, die bei der Verbrennung einer gegebenen Brennstoffmenge frei wird; Berechnung des Widerstands, der Stromstärke und der Spannung sowie der Arbeit und der Leistung des elektrischen Stroms.

8. Klasse: Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte, Berechnung der Geschwindigkeit, der Beschleunigung, des Gewichts, der potentiellen und der kinetischen Energie.

9. Klasse: Berechnung der Kraftstoffmenge, die zum Arbeiten eines Motors während einer bestimmten Zeit erforderlich ist; Berechnen der Wärmeausdehnung von Körpern; Berechnung der Schmelz- und der Verdampfungswärme; Berechnung des Wirkungsgrads der Wärmekraftmaschinen.

10. Klasse: Berechnung der Kapazität eines Kondensators, der Widerstandsänderung in Abhängigkeit von der Temperatur, der Arbeit und der Leistung des elektrischen Stroms, des Widerstands eines Stromkreises, der Brennweite einer Linse.

II. Stoffliche und methodische Betrachtungen zur polytechnischen Bildung im Physikunterricht

Die bisher vorwiegend theoretische Physikausbildung vermittelt wenig praktische Kenntnisse. Die erfolgreiche Durchführung des polytechnischen Unterrichts erfordert deshalb eine wesentliche Umstellung des Unterrichts. Da in der Vergangenheit die Praxis vernachlässigt wurde, endete die Einführung der Begriffe nicht selten mit Definitionen, und physikalische Beziehungen wurden manchmal einfach formal abgeleitet.

Der technischen Anwendung physikalischer Probleme müssen wir deshalb größere Aufmerksamkeit schenken und im Unterricht technische Modelle, Kollektionen (Nichtleiter, Leiter, Transformatorkerne usw.) sowie Einzelteile von Maschinen und Geräten benutzen.

Wie bereits oben erwähnt, ist bei der Durchführung des polytechnischen Unterrichts das wissenschaftlich-technische Denken der Schüler zu entwickeln, was durch ein natürliches Interesse an technischen Dingen begünstigt wird.

Um die Schüler für den Lehrstoff zu interessieren, sind folgende Forderungen zu erfüllen:

- a) Bei der Einführung eines neuen Stoffes muß der Lehrer vom Erfahrungskreis der Schüler ausgehen.
- b) Es sind zahlreiche physikalische Demonstrationsversuche zu zeigen.
- c) Es ist erforderlich, den behandelten Stoff durch technische Anwendungen zu untermauern. Dazu können wir verschiedene Anschauungsmittel, wie Modelle, Diapositive, Filme und Schemata, heranziehen.

Bei der Erfüllung dieser Forderungen wird den Schülern der Lehrstoff folgerichtig entwickelt. Der Lehrer ist dadurch in der Lage, die Anwendungen der Naturgesetze in der Praxis zu zeigen.

Im folgenden werden einzelne Probleme des Physikunterrichts betrachtet, die unmittelbar mit der Technik verbunden sind. Der hier gegebene Lehrstoff ist als Beispiel aufzufassen und berührt nur gewisse Fragen der einzelnen Lehrplanabschnitte.

Diese Stoffsammlung ist für den Lehrer bestimmt. Ein Teil dieses Materials muß im Unterricht behandelt werden, während der andere zur Veranschaulichung bei Exkursionen und in Arbeitsgemeinschaften dienen kann. Schließlich können wir auf Grund dieser Stoffsammlung auch zahlreiche Aufgaben zusammenstellen. Beim Prüfen der Schülerleistungen darf der Lehrer jedoch nur den im Physiklehrplan vorgeschriebenen Stoff verlangen.

1. Die Kraft und ihre Messung

Bei der Behandlung dieser Stoffeinheit wollen wir hauptsächlich auf solche Beispiele eingehen, bei denen Zugkräfte auftreten. So konnten oder können die Schüler auf einem Neubau an einem Kran die Seilspannung sehen, die beim Heben der Lasten vorliegt. Hebezeuge und Förderanlagen ersetzen die schwere körperliche Arbeit der Schauerleute in den Häfen und die der Verladearbeiter bei der Eisenbahn. Die Lokomotive zieht den schweren Zug und der Schleppdampfer den Lastkahn oder das Floß. Der Schreitbagger ESch-14/65 kann 14 m^3 Erde bei einem Arbeitsgang ausheben. Der Traktor schleppt den Anhängerpflug. Der Elektromotor treibt Werkzeugmaschinen an.

In all diesen Fällen haben wir zwei Körper, die aufeinander einwirken. Dabei soll der Lehrer besonders die Schwerkraft — oder mit anderen Worten das Gewicht eines Körpers — herausstellen. Dieses erscheint uns nicht nur als Zugkraft beim Spannen eines Seiles, einer Leine oder eines Fadens, an denen ein Körper hängt, sondern auch als Druckkraft auf eine Unterlage, wie es bei einem Gebäude der Fall ist.

Nach Einführung der Maßeinheiten für die Kraft, dem Pond (p) und dem Kilopond (kp), ist es erforderlich, diese Einheiten zu veranschaulichen. Wir weisen darauf hin, daß die Traktoren S-80 und DT-54 eine maximale Zugkraft von 8800 kp beziehungsweise 2850 kp besitzen. Naturgemäß viel größer müssen die Zugkräfte der Lokomotiven sein. Sie betragen 21 600 kp bei der Dampflokomotive FD, 20 800 kp bei der Diesellokomotive TE-3 und 23 200 kp bei der Elektrolokomotive WL-22^m. Dagegen bringt ein Pferd nur eine Zugkraft von ungefähr 60 kp bei längerer Belastung auf.

Im Unterricht führen wir Gewichtsbestimmungen mit der Federwaage durch. In einem Betrieb zeigen wir den Schülern praktische Messungen mit Dynamometern. Wenn dies nicht möglich ist, führen wir wenigstens Diapositive vor. In den Schülerübungen wird dieser Stoff vertieft und gefestigt, indem die Schüler Schraubenfedern mit einer Skale versehen.

Wir wollen auch an dieser Stelle bereits auf die Richtung einer Kraft eingehen und praktische Anwendungen für die Richtung der Schwerkraft erklären. Diese wird durch ein Lot angezeigt, das beim Theodoliten, beim Errichten von Wänden, beim Einbau von Fenster- und Türrahmen sowie bei der Aufstellung verschiedener Geräte und Maschinen verwendet wird.

Die Schüler sollen sich weiterhin in der grafischen Darstellung der Kräfte üben. Beispielsweise können sie die Zugkraft eines Pferdes und die eines Traktors im gleichen Maßstab darstellen.

¹ Die Hinweise für die 6. und 7. Klasse sind in diesem Buche sehr knapp gefaßt, da in der Sowjetunion für den Stoff dieser Klassen ein weiteres Buch erscheinen soll.

2. Der Heizwert der Brennstoffe — Die Sonne als Energiequelle der Erde

Nach Einführung der Wärmemenge und entsprechender Meßverfahren berechnen die Schüler die zur Erwärmung von Wasser und anderer Stoffe erforderliche Wärmemenge. Diese Erwärmung erfolgt vorwiegend durch die Verbrennung fester, flüssiger oder gasförmiger Brennstoffe. Wir müssen den Schülern mitteilen, daß gegenwärtig die Steinkohle und das Erdöl mit seinen Destillationsprodukten in der Sowjetunion die wichtigsten Brennstoffe sind. Außerdem haben noch Torf, Ölschiefer¹, Erdgas und Brennholz eine große Bedeutung. Zum Vergleich können wir darauf hinweisen, daß der gesamte Energiebedarf der UdSSR nur zu 15% durch die Wasser- und die Windenergie gedeckt wird.

Die Schüler müssen erkennen, daß nicht alle Brennstoffe gleichwertig sind. Im Unterricht ist es freilich schwierig, diese Behauptung experimentell zu belegen. In dieser Frage sind wir gezwungen, uns auf Beispiele aus dem täglichen Leben zu stützen. Feuchtes Holz liefert weniger Wärme als trockenes derselben Art. Die Schüler der Landschulen wie auch die vieler Stadtschulen wissen beispielsweise, daß gleiche Stoffmengen Espen-, Kiefern-, Birken-, Tannen- und Eichenholz unterschiedliche Wärmemengen abgeben. Dasselbe trifft auch für Anthrazit, Steinkohle, Braunkohle, Torf und Stroh zu. Die Schüler haben auch in Büchern gelesen oder von Erwachsenen gehört, daß Benzin, Petroleum und Erdöl wertvolle Brennstoffe sind. All diese Hinweise liefern die Grundlage für die Einführung eines wichtigen Begriffs, nämlich des Heizwerts eines Brennstoffs. Es ist wünschenswert, im Physikraum eine übersichtliche Tabelle der Heizwerte verschiedener Brennstoffe und Nahrungsmittel aufzuhängen. Zu begrüßen ist ebenfalls eine Kollektion fester und flüssiger Brennstoffe.

Wenn die Schüler mit den verschiedenen Brennstoffen und ihren Heizwerten vertraut gemacht werden, bekommen sie einen gewissen Einblick in volkswirtschaftliche Probleme. Sie verstehen dann auch, warum sich die Partei und die Regierung der Sowjetunion bemühen, daß immer größere Brennstoffmengen gefördert und wirtschaftlich ausgenutzt werden. Während 1955 in der UdSSR 391 Millionen Tonnen Kohle und 71 Millionen Tonnen Erdöl gewonnen wurden, sollen sich 1960 diese Zahlen auf 593 Millionen Tonnen Kohle und 135 Millionen Tonnen Erdöl belaufen.

Sehr stark wird sich die gaserzeugende Industrie entwickeln. Die Gewinnung von Erdgas wird sich im Vergleich zum Produktionsstand des Jahres 1955 nahezu vervierfachen, so daß 1960 ungefähr 40 Milliarden Kubikmeter Gas geliefert werden.

Sehr wichtig ist es, daß wir die Schüler auf den sparsamen Verbrauch der Brennstoffe hinweisen. In der sozialistischen Planwirtschaft ist die all-

¹ Ölschiefer ist ein Zwischenprodukt bei der Entstehung des Erdöls. Dieser wird besonders in der Estnischen SSR abgebaut und für die Erzeugung von flüssigem Treibstoff und von Gas verwendet. So versorgt zum Beispiel das größte Industriewerk der Estnischen SSR, das Ölschiefergaswerk von Kochla-Jarwe, Leningrad und Tallin durch Fernleitungen mit Gas.

seitige und vollständige Ausnutzung der Brennstoffe besonders notwendig. Solche Brennstoffe wie Kohle, Erdöl, Torf und Ölschiefer sind wertvolle Rohstoffe der chemischen Industrie. Beispielsweise lassen sich aus Torf auf chemischem Wege bis zu 200 verschiedene Produkte herstellen. Dazu gehören unter anderem Spiritus, Benzin, Terpentin sowie verschiedene Öle und Säuren. Erdöl ist ein Rohstoff, aus dem zahlreiche flüssige Brennstoffe, Schmieröle und viele andere Produkte gewonnen werden. So gewinnt man auch Paraffin, das in der Elektrotechnik als Isoliermaterial verwendet wird, und Vaseline, die man in der pharmazeutischen und kosmetischen Industrie braucht, aus Erdöl.

Da die wertvollen Brennstoffe wichtige Rohstoffe für die chemische Industrie sind, ist es volkswirtschaftlich gesehen notwendig, in den Wärme- kraftwerken Brennstoffe geringer Qualität zu verheizen.

Wenn wir die Energie der Gewässer, des Windes oder die chemische Energie der Brennstoffe behandeln, ist es notwendig, auch nach dem Ursprung der verschiedenen Energieformen zu fragen. Die Schüler haben bereits gelernt, daß die Energie weder erzeugt noch vernichtet werden kann. Sie kennen das Gesetz von der Erhaltung und der Umwandlung der Energie. Außerdem helfen uns hier die Kenntnisse, die die Schüler bereits in Biologie und Geographie erworben haben. Wenn der Lehrer den Kreislauf des Wassers oder die Entstehung der Winde analysiert, kommt er auf die Erwärmung der Körper durch die Sonne zu sprechen. Dabei wiederholt und verallgemeinert er die Kenntnisse über die Wärmestrahlung, die Wärmeströmung im Wasser und in der Luft, das Verdampfen und das Kondensieren, das Zustandekommen der Niederschläge sowie die Änderung des Luftdrucks. Auf Grund dieser Darstellung erfahren die Schüler, daß alle diese Erscheinungen auf die Sonneneinstrahlung zurückgeführt werden können.

Die Sonnenstrahlung ermöglicht überhaupt erst das pflanzliche und tierische Leben auf der Erde. Verschiedene Brennstoffarten — Steinkohle, Torf, Holz, Erdöl, Erdgas — können als spezielle Speicher der Sonnenenergie aufgefaßt werden. Bisweilen behaupten Lehrer, daß alle auf der Erde vor-

handenen natürlichen Energiequellen letzten Endes ihre Energie von der Sonne bezogen haben. Eine solche Schlußfolgerung ist aber falsch, da auf der Erde Energieformen existieren, die anderer Herkunft sind. Zu ihnen gehören die Kernenergie sowie die Energie der Gezeiten. Diese Hinweise geben wir den Schülern aber nur dann, wenn von ihnen diesbezügliche Fragen gestellt werden.

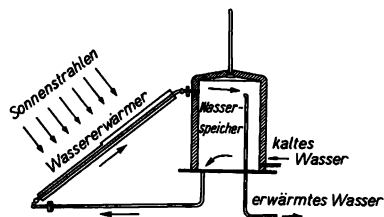


Abb. 1. Heißwasserbereitung mit Hilfe von Sonnenenergie

Behandeln wir die Sonne als Energiequelle, so können wir die direkte Ausnutzung dieser Energie in den Sonnenkraftanlagen erwähnen. In einer Arbeitsgemeinschaft ist es möglich, das Modell einer solchen Anlage anzufertigen. Die Abbildung 1 zeigt einen Heißwasserbereiter, der die Sonnenenergie direkt ausnutzt.

ACHTE KLASSE

1. Die Zusammensetzung und die Zerlegung der Kräfte

Dieser Stoffabschnitt bringt eine Reihe von Begriffen und Gesetzen, die großen polytechnischen Wert besitzen. Dazu gehören die Kraft, das Drehmoment, der Momentensatz, die Resultierende und ihre Gegenkraft, die Zusammensetzung und die Zerlegung der Kräfte, der Schwerpunkt und die Gleichgewichtsarten, die Reibungsgesetze und die Wirkungsweise einfacher kraftumformender Einrichtungen wie Hebel, schiefe Ebene, Keil und Schraube. Wir müssen in diesem Buch auf eine methodische Darstellung dieses Stoffabschnitts verzichten und uns auf Hinweise beschränken, die für die polytechnische Bildung wesentlich sind.

a) Drehmoment und Momentensatz

Die Einführung des Drehmoments und die Beherrschung des Momentensatzes gestattet eine Behandlung statischer Probleme von einer höheren Warte aus. So können die Gleichgewichtsbedingungen für Körper, die in einem Punkt unterstützt werden oder in einer Achse gelagert sind, mit Hilfe des Drehmoments gefunden werden. Mit dem Momentensatz lassen sich Aufgaben, wie die Zusammensetzung paralleler Kräfte, die Ableitung der Gleichgewichtsbedingungen für den Hebel und das Wellrad, die Bestimmung der Druckkraft eines belasteten Trägers auf seine Unterstützungspunkte oder der Laufkatze eines Hebekrans auf die Schienen sowie die Formulierung der Standfestigkeitsbedingungen der Körper, leicht und ohne großen Zeitaufwand lösen.

Das gilt auch dann, wenn mehr als drei Kräfte an einem Körper angreifen. Dadurch werden die Kenntnisse der Schüler vertieft und verallgemeinert.

Zunächst erläutern wir den Schülern, daß durch Kräfte nicht nur Verformungen oder Bewegungsänderungen der Körper hervorgerufen werden können, sondern daß auch ein Körper durch eine Kraft in eine Drehbewegung versetzt werden kann. Die zur Drehung notwendige Bedingung können wir an einer drehbar gelagerten Scheibe zeigen, auf die durch einen Faden eine Kraft übertragen wird. Die Scheibe dreht sich nur, wenn der Faden und damit die Wirkungslinie der Kraft nicht durch die Drehachse verläuft. Andernfalls bleibt die Scheibe in Ruhe, und die gleichgroße Gegenkraft wird von der Achse hervorgerufen, die sich etwas verformt hat.

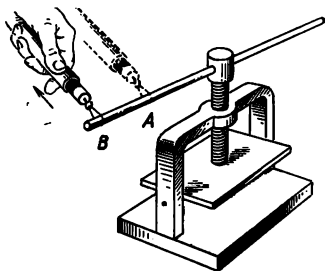


Abb. 2. Kraftwirkung an einer Schraubenpresse

Es empfiehlt sich, den Begriff des Drehmoments, das durch die Größe der Kraft, den Kraftarm und den Drehsinn charakterisiert ist, an folgendem Beispiel einzuführen. Am Handgriff einer Schraubenpresse wird eine Federwaage einmal im Punkt A, ein andermal im Punkt B angebracht. Wie Abbildung 2 zeigt, wird an der Federwaage beide Male mit gleicher Kraft gezogen (siehe Skale der Federwaage). Die Größe der Kraft wählen wir dabei so, daß sich die Schraube im ersten Fall nicht dreht, während im zweiten

Fall eine Drehung auftreten soll. Darauf wiederholen wir den Versuch mit gleichen Kraftarmen und verschiedenen großen Kräften.

Dieser Versuch lehrt, daß die drehende Wirkung der Kraft nicht nur von der Größe der Kraft, sondern auch von der Länge des Kraftarms abhängt. Sie ergibt sich aus dem Produkt dieser Größen.

An der Tafel wird die schematische Darstellung eines drehbaren Körpers (beispielsweise eine Scheibe auf einer Achse) mit den Kraftvektoren gegeben. Hierauf werden Kraftarm und Drehmoment definiert. Dabei ist es empfehlenswert, die Kraft jeweils unter verschiedenen Winkeln zum Radius der Scheibe wirken zu lassen. Der Kraftarm wird als kürzester Abstand zwischen der Drehachse und der Wirkungslinie der Kraft definiert.

Dann wird der Begriff des rechts- und linksdrehenden Moments gegeben, wobei auf die Wahl des Vorzeichens einzugehen ist.

Schließlich sind die Einheiten zur Messung des Drehmoments (kpm und pcm) einzuführen.

Zur Festigung des Erlernten können wir den Schülern etwa folgende Fragen stellen:

1. Weshalb läßt sich eine Last mit einer Winde leichter heben, wenn der Kurbelarm länger ist? Weshalb läßt sich eine Schraubenmutter leichter drehen, wenn die Kraft nicht in der Mitte, sondern am Ende des Schraubenschlüssels angreift?
2. In welchem Falle der Abbildung 3 ist das Drehmoment größer? Welches Drehmoment wirkt, wenn sich das Fahrradpedal in der höchsten Lage befindet und die Kraft senkrecht nach unten gerichtet ist?

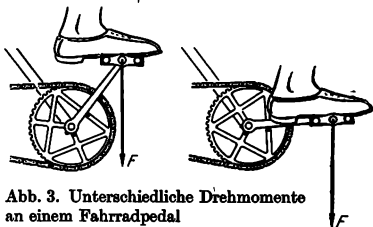


Abb. 3. Unterschiedliche Drehmomente an einem Fahrradpedal

Bei der Ableitung der Gleichgewichtsbedingung eines Körpers in bezug auf seine Drehachse können wir eine Momentenscheibe mit konzentrischen Kreisen benutzen, die abwechselnd beispielsweise gelb und rot gekennzeichnet sind. Bei Wiederholung des Versuchs können wir an die Scheibe vier Lasten hängen, so daß je zwei rechts- und linksdrehende Momente vorhanden sind.

Bei der Vorführung des Versuchs ist klar darauf hinzuweisen, wo sich die Drehachse, die Angriffspunkte der Kräfte und die Kraftarme befinden, wie die Kräfte gerichtet sind und welcher Drehsinn der Scheibe bei Einwirkung der einzelnen Drehmomente vorliegt (diese Hinweise müssen ebenfalls beim Lösen der Aufgaben gegeben werden). Hierauf werden die Drehmomente berechnet (die Lasten und die Hebelarme sind in beliebigen Einheiten zu messen). Schließlich wird festgestellt, daß jeweils die Summen der Drehmomente mit entgegengesetztem Drehsinn ineinander gleich sind.

Auf Grund dieses Versuchs wird die Schlußfolgerung gezogen, daß ein fester, drehbarer Körper sich im Gleichgewicht befindet, wenn die Summe der rechtsdrehenden Momente gleich der Summe der linksdrehenden Momente ist.

Ein fester, drehbarer Körper befindet sich im Gleichgewicht, wenn die algebraische Summe der Drehmomente aller am Körper angreifenden Kräfte gleich Null ist.

Zunächst wird die Gleichgewichtsbedingung an einem Zahlenbeispiel gezeigt. Anschließend erfolgt die Formulierung für den allgemeinen Fall.

Die experimentelle Prüfung des Momentensatzes in den Schülerübungen kann mit einer der Versuchseinrichtungen geschehen, die in der Abbildung 4 dargestellt sind. Bei der Scheibe in der Abbildung 4a¹ werden die Abstände zwischen den Wirkungslinien der Kräfte und dem im Mittelpunkt der Scheibe befestigten Lot A unmittelbar mit der Millimeterskala B gemessen, die am Stativ befestigt ist.

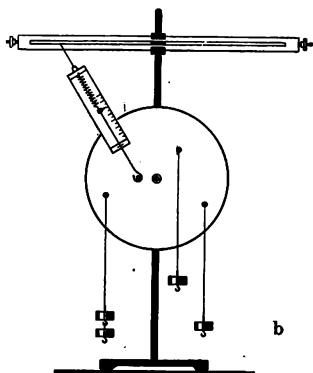
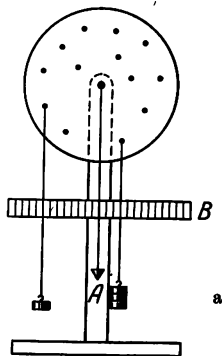


Abb. 4. Momentenscheibe zur Prüfung der Gleichgewichtsbedingung eines Körpers

¹ P. A. Snamenski, Prof., Schülerübungen im Physikunterricht der Mittelschule, 6. Auflage, Teil I, Leningrad, Utschpedgiz, 1955, Seite 190.

Die zweite Scheibe (Abb. 4b)¹ ermöglicht ein Angreifen der Kräfte in verschiedenen Richtungen. Die Messung der Kraftarme erfolgt durch Verschieben eines Winkeldreiecks. Der Momentensatz wird zweimal geprüft.

Bevor Aufgaben zum Momentensatz gestellt werden, sollte noch folgendes Problem untersucht werden: Ein Holzklotz mit dem Gewicht G liegt auf einem Tisch (Abb. 5). Er drückt auf den Tisch mit der Kraft F_1 , die gleich dem Gewicht G ist. Der Tisch wird etwas verformt und wirkt auf

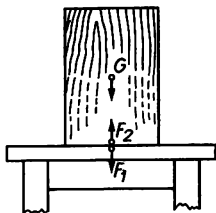


Abb. 5. Gleichgewichtsbedingung an einem Holzklotz, der auf einer Tischplatte ruht

den Holzklotz mit einer Gegenkraft $F_2 = -F_1$ ein. Die Kräfte F_1 und F_2 greifen an verschiedenen Körpern an und heben sich deshalb nicht auf. Warum ist dieser Klotz aber trotzdem im Gleichgewicht? Die Erklärung besteht darin, daß die Gegenkraft F_2 und das Gewicht G des Klotzes an *einem Körper* angreifen. Die Resultierende dieser beiden Kräfte ist Null, und daher befindet sich der Klotz im Gleichgewicht.

Als Beispiele für Aufgaben wollen wir die Gleichgewichtsbedingungen an einem Hebel und an einem Hebekran sowie die Bestimmung der Druckkraft eines belasteten Trägers auf seine Unterstützungspunkte behandeln.

1. Hebel. Mit Hilfe einer speziellen Brechstange werden Schienenennägel

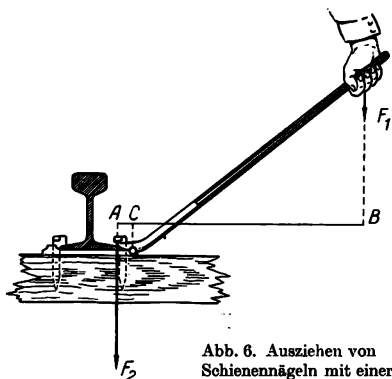


Abb. 6. Ausziehen von Schienenennägeln mit einer Brechstange

aus einer Eisenbahnschwelle herausgezogen (Abb. 6). Es ist zu bestimmen, mit welcher Kraft ein Schienenennagel auf den Lastarm der Brechstange einwirkt, wenn am andern Ende der Brechstange eine Kraft $F_1 = 40 \text{ kp}$ angreift. Die Längen der Arme betragen $\overline{CA} = 3 \text{ cm}$ und $\overline{CB} = 1,11 \text{ m}$.

Die Brechstange ist ein Körper mit einer Drehachse. Die Kräfte sind in Form von gerichteten Strecken zu zeichnen, die an beiden Seiten der Brechstange wirken; die Drehachse ist zu markieren; beide Kraftarme sind durch dünne Linien anzudeuten.

¹ A. A. Pokrowski u. B. S. Sworykin, „Physikalische Schülerübungen in gleicher Front“, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1960 (Übersetzung aus dem Russischen).

Wir erkennen, daß sich bei einer Drehung des Hebels auch bei vertikal gerichteten Kräften die Längen der Hebelarme ändern. Aus diesem Grund muß die Aufgabe für eine bestimmte Lage des Hebels, beispielsweise für die in der Abbildung gezeigte, gelöst werden.

Bei gleichförmiger Bewegung der Brechstange bleibt die Gleichgewichtsbedingung bei beliebiger Lage des Hebels erhalten. Nach dem Momentensatz gilt

$$F_1 \cdot \overline{CB} = F_2 \cdot \overline{CA},$$

woraus folgt

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot \overline{CB}}{\overline{CA}}.$$

Setzen wir in diesen Ausdruck die Zahlenwerte aus der Aufgabe ein, so erhalten wir

$$F_2 = \frac{40 \text{ kp} \cdot 111 \text{ cm}}{3 \text{ cm}} = 1480 \text{ kp}.$$

Zusätzlich stellen wir noch die Frage, welche Kraft auf den Auflagepunkt des Hebels wirkt und welche Gegenkraft von seiten der Unterlage auftritt. Wir zeichnen die Vektoren dieser Kräfte. Die zuerst genannte Kraft greift an der Unterlage, die zweite an der Brechstange an.

Wir sollten auch auf folgendes hinweisen. Bei ungleicharmigen Hebeln legen die Angriffspunkte der Kraft beziehungsweise die der Last in der gleichen Zeit unterschiedliche Wege zurück, wenn etwas gehoben oder ein Widerstand überwunden wird. Die Verschiebungsgeschwindigkeiten dieser Angriffspunkte verhalten sich umgekehrt proportional zu den entsprechenden Kräften. Dieses Problem wird im Rahmen der Stoffeinheit „Die mechanische Energie“ bei der Behandlung der Leistungsübertragung durch Maschinen eingehender erläutert.

Die Aufgaben über das Gleichgewicht bei der Rolle und dem Wellrad lassen sich in gleichartiger Weise lösen.

2. Die Druckkräfte eines Trägers auf seine Unterstützungspunkte (Berechnung der Gegenkraft von seiten der Auflagepunkte). Ein Träger mit der Länge $\overline{AB} = 6 \text{ m}$ und mit dem Gewicht $G = 100 \text{ kp}$ liegt auf den beiden Punkten A und B auf. 1 m von B entfernt befindet sich eine Last $Q = 200 \text{ kp}$ (Abb. 7).

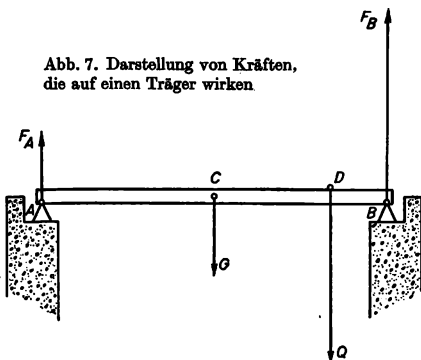


Abb. 7. Darstellung von Kräften, die auf einen Träger wirken.

Wir bestimmen die Druckkräfte des Trägers auf seine Unterstützungspunkte.

Zur Lösung dieser Aufgabe kann der Momentensatz verwendet werden. Würde die Unterstützung in B fehlen, so würde sich der Träger unter Einwirkung der Kräfte G und Q im Uhrzeigersinn um den Auflagepunkt A drehen. Zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichts muß also die Unterlage in B eine Gegenkraft F_B auf den Träger ausüben. Das Drehmoment dieser Gegenkraft würde den Träger entgegen dem Uhrzeigersinn drehen.

Um die Gegenkraft der Unterlage zu bestimmen, schreiben wir die Gleichgewichtsbedingung in der Form

$$G \cdot \overline{AC} + Q \cdot \overline{AD} = F_B \cdot \overline{AB},$$

$$100 \text{ kp} \cdot 3 \text{ m} + 200 \text{ kp} \cdot 5 \text{ m} = F_B \cdot 6 \text{ m}.$$

Hieraus folgt

$$F_B \approx 217 \text{ kp}.$$

Ebenso läßt sich die Kraft F_A ermitteln. Dazu wird angenommen, daß der Unterstützungspunkt A nicht existiert. Unter Einwirkung der Kräfte G und Q bewegt sich der Träger entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn um B . Der Träger befindet sich dann in der Gleichgewichtslage, wenn gilt:

$$G \cdot \overline{CB} + Q \cdot \overline{DB} = F_A \cdot \overline{AB},$$

$$100 \text{ kp} \cdot 3 \text{ m} + 200 \text{ kp} \cdot 1 \text{ m} = F_A \cdot 6 \text{ m}.$$

so daß

$$F_A \approx 83,3 \text{ kp}.$$

Die Gegenkräfte F_A und F_B der Unterstützungspunkte sind entgegengesetzt gleich den entsprechenden Druckkräften des Trägers in den Punkten A und B .

Der Momentensatz erweist sich besonders dann als vorteilhaft, wenn mehrere parallele Kräfte an einem Körper angreifen.

3. Hebekran. (Bestimmung des Gleichgewichts und der Standfestigkeit.) An einem Kran hängt eine Last von 5 Mp (Abb. 8). Ihr Abstand von der Senkrechten durch die rechten Räder beträgt $1,25 \text{ m}$. Das Gewicht des Krans von $4,5 \text{ Mp}$ greift im Schwerpunkt C an, der $0,7 \text{ m}$ links von den rechten Rädern

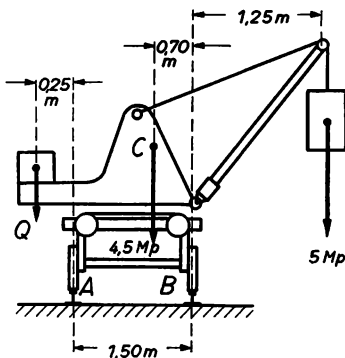


Abb. 8. Darstellung von Kräften, die an einem Hebekran wirken

entfernt ist. Der Schienenabstand beträgt 1,5 m. Das Gegengewicht befindet sich in einer Entfernung von 0,25 m von den linken Rädern.

Wir bestimmen das kleinste Gegengewicht, das den Kran noch vor dem Umkippen bewahrt. Würde der Kran ohne Last stabil sein? (Auf die zweite Frage kann nach Untersuchung der Standfestigkeit der Körper eine Antwort gegeben werden.)

Beim belasteten Kran lautet die Gleichgewichtsbedingung gegenüber den rechten Rädern B des Fahrgestells

$$Q \cdot 1,75 \text{ m} + 4,5 \text{ Mp} \cdot 0,7 \text{ m} = 5 \text{ Mp} \cdot 1,25 \text{ m}.$$

Hieraus finden wir $Q \approx 1,8 \text{ Mp}$. Das Gegengewicht darf also nicht kleiner als 1,8 Mp sein.

Der unbelastete Kran steht stabil, wenn die Wirkungslinie der Resultierenden zwischen den Schienen hindurchgeht. Die Erfüllung dieser Bedingung läßt sich mit dem Momentensatz in bezug auf den Angriffspunkt der Resultierenden prüfen:

$$1,8 \text{ Mp} \cdot x = 4,5 \text{ Mp} (1,05 \text{ m} - x).$$

Hieraus ergibt sich $x = 0,75 \text{ m}$. Die Wirkungslinie der Resultierenden liegt demnach 0,5 m rechts von den Rädern A des Fahrgestells und schneidet somit die Unterstützungsfläche. Der Kran ist also im Gleichgewicht.

b) Schwerpunkt eines Körpers

Wir suchen den Schwerpunkt einer dünnen, homogenen Stange, einer ebenen Figur und schließlich eines beliebigen Körpers. Die Methoden zur experimentellen Bestimmung des Schwerpunkts durch Aufhängen des Körpers an einen Faden, der nacheinander an verschiedenen Punkten befestigt wird, oder durch Lagerung auf einer dünnen Achse (beispielsweise auf einer Stricknadel) werden erläutert. Beim zweiten Verfahren wird an der Stricknadel zusätzlich ein Lot befestigt und der Schnittpunkt der Linien bestimmt, die vom Lot bei verschiedenen Befestigungen des Körpers gegeben werden. Es ist zu empfehlen, die Schüler auch auf die folgende Methode zur Bestimmung des Schwerpunktes einer ebenen Figur aufmerksam zu machen.

Auf einen Tisch wird ein Stück Pappe so gelegt, daß ein Teil über den Rand des Tisches hinausragt. Es wird so weit geschoben, daß es gerade noch nicht herunterfällt. Der Rand des Tisches wird auf der Pappe durch eine Linie markiert. Der Versuch wird sodann unter Drehung der Figur in eine andere Lage wiederholt. Der Schwerpunkt der Pappe fällt mit dem Schnittpunkt der markierten Linien zusammen.

Bei Auswertung der Versuchsergebnisse stellen wir fest: Die Lage des Schwerpunktes eines Körpers ist unabhängig von seiner Lage in bezug auf die Erde; der Schwerpunkt kann nicht nur innerhalb eines Körpers, sondern auch außerhalb von ihm liegen; der Schwerpunkt hängt von der Massenverteilung im Körper ab. Wir schlagen vor, daß diese Ergebnisse durch

weitere häusliche Experimente von den Schülern überprüft werden. Sie können sich aus Blech, Sperrholz oder Pappe die Profile eines Kraftwagens und anderer Fahrzeuge ausschneiden. An einigen Stellen der Figuren werden Löcher gebohrt und durch zwei von ihnen Gewindebolzen mit Schraubenmuttern gesteckt, die beispielsweise den Motor und die Last darstellen. Dann wird der Schwerpunkt der Figur bestimmt. Hierauf wird einer der Bolzen (die „Last“) durch eine andere Bohrung gesteckt und der Schwerpunkt aufs neue festgestellt. Der neue Schwerpunkt fällt mit dem vorhergehenden nicht zusammen.

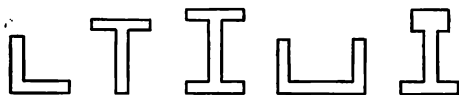


Abb. 9. Verschiedenartige ebene Figuren zur Schwerpunktbestimmung

Auch die Schwerpunkte der ebenen Figuren in der Abbildung 9 werden zu Hause bestimmt. Im folgenden wird eine Methode zur Berechnung des Schwerpunkts einer dünnen Platte beschrieben (Abb. 10), die auf der Anwendung des Momentensatzes beruht.

Wir teilen die Figur in drei Rechtecke ein und bestimmen hiervon die Schwerpunkte. Die gefundenen Schwerpunkte liegen auf einer Geraden. Die Gewichte der Teilfiguren sind ihren Flächen proportional; in unserem Fall sollen sie sogar zahlenmäßig übereinstimmen.

$$F_1 = 50 \text{ p, } F_2 = 80 \text{ p. und } F_3 = 40 \text{ p.}$$

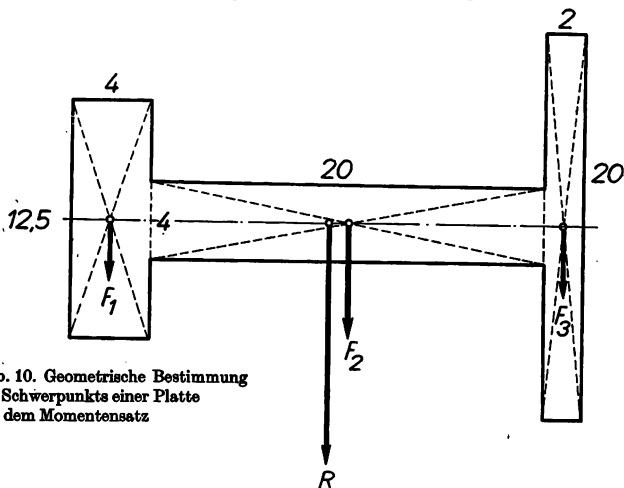


Abb. 10. Geometrische Bestimmung des Schwerpunkts einer Platte mit dem Momentensatz

Die Summe der Drehmomente von F_1 und F_2 in bezug auf den Angriffspunkt der dritten Kraft F_3 ist gleich dem Drehmoment der Resultierenden $R = 170 \text{ p}$ in bezug auf denselben Punkt. Demzufolge gilt

$$50 \text{ p} \cdot 23 \text{ cm} + 80 \text{ p} \cdot 11 \text{ cm} = 170 \text{ p} \cdot x,$$

wobei x der Abstand zwischen dem Angriffspunkt von F_3 und dem Schwerpunkt der ganzen Figur ist. Hieraus ergibt sich

$$x = \frac{2030 \text{ pcm}}{170 \text{ p}} = 11,9 \text{ cm}.$$

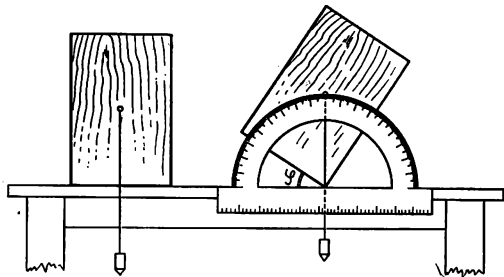
Diese Aufgabe läßt sich auch durch Anwendung des bekannten Satzes lösen: *Die Kräfte sind umgekehrt proportional den Abständen zwischen dem Schwerpunkt und den Angriffspunkten der Kräfte.*

Zur Wiederholung des Lehrstoffs können folgende Fragen und Übungen behandelt werden:

1. Wohin verlagert sich der Schwerpunkt eines Kraftwagens bei der Entladung und der eines Schiffes, wenn die Ladung vom Bug zum Heck gebracht wird?
2. Wo befindet sich der Schwerpunkt eines Propellers, eines Rades vom Fahrrad, eines Schwungrades, eines Treib- und eines Laufrades einer Lokomotive?
3. Ändert sich die Lage des Schwerpunkts eines Flugzeugs für einen mitbewegten Beobachter? Die Antwort ist zu erläutern.

Wenn wir die Standfestigkeit solcher Körper behandeln, die auf einer Fläche oder mehreren Auflagepunkten ruhen, so ist dabei der Begriff des Kippwinkels zu erläutern. Wir stellen einen Holzquader oder einen Ziegelstein auf die kleine oder mittelgroße Fläche und drehen ihn um eine Kante (Abb. 11). Bei kleinen Neigungswinkeln geht er in die Ausgangslage zurück, bei großen Neigungswinkeln fällt er um. Der Neigungswinkel φ , der den

Abb. 11. Messung des Kippwinkels



Grenzwert darstellt, bei dem er gerade noch nicht kippt, wird Kippwinkel genannt. Wir weisen darauf hin, daß das Drehmoment der Schwerkraft bei diesem Winkel gleich 0 wird.

In der Technik ist das Verhältnis zwischen Standmoment $M_1 = G \cdot a$ und Kippmoment $M_2 = F \cdot h$ (Abb. 12) wichtig. Es charakterisiert die Standfestigkeit des Körpers gegenüber der Kante B.

Bei der Veranschaulichung des stabilen Gleichgewichts geneigter Körper ist es nicht angebracht, auf die sogenannten „schiefen Türme“ einzugehen. A. W. Zinger weist mit Recht darauf hin, daß diese Türme mit dem Fundament fest verbunden sind und dadurch andere Verhältnisse vorliegen.¹

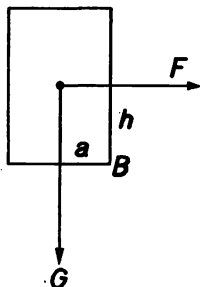


Abb. 12. Stand- und Kippmoment eines Körpers

Schließlich müssen wir noch besprechen, wie sich die Standfestigkeit der Körper vergrößern läßt. Gewöhnlich wird die Zunahme der Standfestigkeit an Hand eines Holzklotzes oder eines Ziegelsteins demonstriert, der auf verschiedene Seitenflächen gestellt wird. Bei einer derartigen Versuchsdurchführung ändert sich neben der Unterstützungsfläche auch die Höhe des Schwerpunkts in bezug auf die Oberfläche des Tisches. Wir können dabei noch nicht feststellen, daß jede der genannten Ursachen die Standfestigkeit des Körpers ändert.

Wir wollen deshalb die Ursachen gesondert behandeln.

1. Ein Holzklotz von der Form eines Quaders steht auf einer der kleinsten Flächen. An zwei gegenüberliegenden Seitenflächen werden in der Nähe der Grundfläche Metallstreifen aus Eisen oder Blei angenagelt. In den Quader kann auch ein Loch gebohrt werden, durch das ein Wasserleitungsrohr von geeignetem Durchmesser gesteckt wird. Dann wird der Kippwinkel einmal für den Fall gemessen, daß der Klotz auf der Grundfläche steht, und einmal für den Fall der entgegengesetzten Fläche (Drehung um 180°).
2. Auf die Grundfläche desselben Holzklotzes nageln wir ein Brettchen, das größer als die Grundfläche des Klotzes ist. Ebenso wie beim vorhergehenden Versuch werden die Kippwinkel des Körpers für die beiden Lagen gemessen, bei denen sich das Brettchen einmal unter und einmal über dem Klotz befindet.

Im Gespräch mit den Schülern können wir eine Reihe praktischer Anwendungen erörtern, die die Standfestigkeit der Körper erhöhen. Dazu gehört das Unterbringen der Lasten im Laderaum eines Schiffes, das Anbringen eines Gegengewichtsstücks am Fahrgestell eines Hebekrans oder von Metall-

¹ A. W. Zinger, Prof.: Aufgaben und Probleme der Physik. Utschpedgia, 1951, Seite 246.

platten an der Grundfläche einer Tischlampe, die Vergrößerung der Auflageflächen bei Schneezäunen und so weiter.

Im folgenden werden einige Übungen zur Wiederholung angeführt:

1. Ein Lastkraftwagen ist mit Holz, ein anderer mit Ziegelsteinen beladen. Beide Lasten besitzen das gleiche Gewicht. Welcher von beiden Kraftwagen steht stabiler?
2. Drei gleichartige Ziegelsteine stehen mit jeweils verschieden großen Seitenflächen auf einem geneigten Brett und werden auf der linken Seite durch eine am Brett befestigte kleine Leiste gehalten (Abb. 13). In welcher Reihenfolge kippen die Ziegel um, wenn das Brett am rechten Ende gehoben wird? Die Antwort ist experimentell zu prüfen.
3. Auf einen Behälter vom Gewicht G mit quadratischer Grundfläche und der Seitenlänge a , wirkt in horizontaler Richtung eine Kraft F , deren Wirkungslinie in der Höhe h durch den Schwerpunkt des Behälters geht. Zu bestimmen ist der größte Wert der Kraft F , bei dem das stabile Gleichgewicht noch erhalten bleibt.

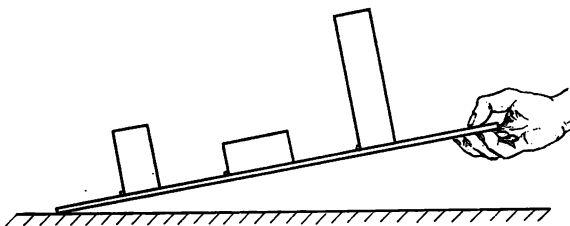


Abb. 13. Prüfung der Standfestigkeit bei Ziegelsteinen in verschiedenen Lagen

Lösung: Der Körper befindet sich gegenüber einer Kante der Grundfläche im Gleichgewicht, wenn

$$F \cdot h < \frac{G \cdot a}{2}$$

oder, im Grenzfall, wenn

$$F \cdot h = \frac{G \cdot a}{2} \text{ ist.}$$

Hieraus ergibt sich

$$F = \frac{G \cdot a}{2 h}.$$

Der Körper steht also um so stabiler, je größer die Auflagefläche und je kleiner der Abstand des Schwerpunkts von der Grundfläche ist.

c) Kräfteparallelogramm — Einfache kraftumformende Einrichtungen

Die Untersuchung einfacher kraftumformender Einrichtungen vertieft die Kenntnisse über das Kräfteparallelogramm und über den Momentensatz. Sie erleichtert das Verständnis der „Goldenen Regel der Mechanik“, die einen Sonderfall des allgemeinen Energieerhaltungssatzes darstellt. Kenntnisse über die Wirkungsweise einfacher kraftumformender Einrichtungen haben aber offensichtlich auch eine praktische Bedeutung. Sie gewährleisten einen engen Zusammenhang zwischen dem Physikunterricht und der Maschinenkunde, und die Schüler können bei ihren praktischen Übungen in Maschinenkunde ihr theoretisches Wissen anwenden. Deshalb sollten im Physikunterricht der 8. Klasse die einfachen kraftumformenden Einrichtungen zweimal behandelt werden, und zwar zuerst vom Standpunkt der Statik, dann von dem der Dynamik aus. Im zweiten Fall kann der Lehrer die praktischen Kenntnisse der Schüler über den Aufbau und die Wirkungsweise dieser Einrichtungen berücksichtigen.

Das Kräfteparallelogramm ist sehr wichtig für Gleichgewichtsbetrachtungen. Es wird bekanntlich bei der Untersuchung der schiefen Ebene, des Keils und der Schraube angewendet.

1. Schiefe Ebene. Für die Behandlung der schiefen Ebene werden in Lehrbüchern und methodischen Beiträgen verschiedene Wege eingeschlagen, während die methodische Literatur bedauerlicherweise keine tiefergehenden Betrachtungen bringt.

Suchen wir von einem Körper auf der schiefen Ebene die Hangabtriebskraft, so zerlegen wir das Gewicht in zwei Komponenten. Hierbei werden jedoch *nicht alle* Kräfte berücksichtigt, die am Körper angreifen. In Wirklichkeit wird ein Körper von der Erde und der schiefen Ebene beeinflusst. Beispielsweise wirkt die Erde auf einen Holzklotz mit einer Kraft, die dem Gewicht G des Klotzes gleich ist. Außerdem bringt die schiefe Ebene, die unter der Einwirkung des Klotzes verformt wird, eine Gegenkraft F hervor. Diese Gegenkraft von seiten der Unterlage ist senkrecht zur schiefen Ebene gerichtet (Abb. 14). Die geometrische Summe der Kräfte G und F liefert als Resultierende die Hangabtriebskraft H , die parallel zur schiefen Ebene am Klotz angreift.

In unserem Beispiel der schiefen Ebene sind nur Größe und Richtung des Gewichts G und Richtung der Gegenkraft F bekannt. Damit jedoch die Aufgabe eine eindeutige Lösung hat, wählen wir die Richtung der Resultierenden so, daß sie mit der Bewegungsrichtung des Körpers auf der schiefen Ebene zusammenfällt. Berücksichtigen wir nun die Richtung der Gegenkraft F und beachten wir ihre Verknüpfung mit einer gleich großen, aber entgegengesetzt gerichteten Druckkraft (Normalkraft N), so benutzen wir stillschweigend die Zerlegung des Gewichts in zwei Komponenten nach dem Kräfteparallelogramm.

K. A. Putilow wies darauf hin, daß eine der beiden Komponenten des Gewichts als Normalkraft statisch in Erscheinung tritt, während die andere

Komponente als Hangabtriebskraft dynamisch wirkt und den Körper beschleunigt. Die dynamische Wirkung der Hangabtriebskraft H kann auch bei ihrer Zusammensetzung aus dem Gewicht G und der Gegenkraft F erkannt werden.¹

In der 8. Klasse geben wir der Zusammensetzung der Hangabtriebskraft aus Gewicht und Gegenkraft den Vorzug. Bei diesem Verfahren werden die Kräfte berücksichtigt, die tatsächlich am Körper angreifen. Hierdurch erhält die Lösung der Aufgabe eine größere physikalische Bedeutung. Diese Überlegungen gelten auch für ein schwingendes Pendel, für eine Kugel, die sich auf der konkaven Oberfläche eines Uhrglases bewegt, und ähnliche Fälle.

Nach dieser Vorbetrachtung kommen wir zur unterrichtlichen Durchführung. Auf einer schiefen Ebene liegt ein Holzklötz mit dem Gewicht G . Es ist die Kraft H' zu bestimmen, die an dem Klotz parallel zur schiefen Ebene angreifen muß, damit er in Ruhe bleibt. Die Reibung wird dabei vernachlässigt. Entsprechend den obigen Ausführungen wirken auf den Klotz das Gewicht G , die Gegenkraft F und die gesuchte Kraft H' . Die letztere steht mit der Resultierenden H im Gleichgewicht. Die Hangabtriebskraft H bildet dabei eine Diagonale des Parallelogramms, das von der Größe und der Richtung des Gewichts und der Gegenkraft gebildet wird.

Die Gleichgewichtsbedingung der drei Kräfte G , F und H folgt aus der Ähnlichkeit der Dreiecke ABC und DOK (Abb. 14).

$$\frac{\overline{OD}}{\overline{OK}} = \frac{\overline{BC}}{\overline{BA}};$$

das heißt

$$\frac{H}{G} = \frac{h}{l}$$

oder

$$H = G \cdot \frac{h}{l}.$$

Da

$$H = H',$$

wird

$$H' = G \cdot \frac{h}{l} = G \cdot \sin \varphi.^2$$

Nun ist

$$\sin \varphi < 1,$$

demzufolge erhalten wir

$$H' < G.$$

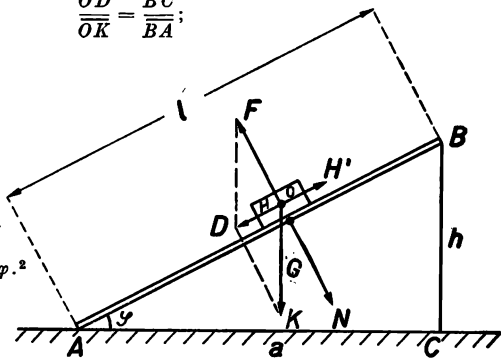


Abb. 14. Darstellung des Kräftegleichgewichts an der schiefen Ebene

¹ K. A. Putilow: Physikunterricht. Bd. 1, Gostechisdat, 1954, Seite 97.

² Hier und im weiteren werden bei der Wiederholung des Lehrstoffes am Ende des Schuljahres oder in der 10. Klasse die trigonometrischen Funktionen herangezogen.

Wir untersuchen die gefundene Gleichung und betrachten das Verhältnis zwischen der Kraft H' , die zum Halten des Körpers nötig ist, und dem Gewicht des Körpers. Ferner untersuchen wir die Abhängigkeit der Kraft H' vom Neigungswinkel φ der schiefen Ebene.

Als Anwendung der schiefen Ebene kann der Lehrer folgende Beispiele erläutern: die Entleerung eines Kippers mit einer Selbstentladevorrichtung, die Laderampen auf Güterbahnhöfen, die Schrotleiter, Schrägaufzüge usw. Außerdem können wir darauf hinweisen, daß das Gefälle einer Eisenbahnstrecke in ‰ angegeben wird, wobei entsprechende Zeichen den Anstieg beziehungsweise das Gefälle markieren.¹

2. Keil. Die Wirkung des Keils wird durch einen Versuch gezeigt und anhand des Kräfteparallelogramms erläutert.

An der Schneide (1) eines Keils wirkt über einen Faden eine Kraft F . Die Wangen (2) üben daher auf die Rollen (3) eine Kraft aus (Abb. 15). Auf das Brettchen (4) wird eine solche Last (Wägestück) gestellt, daß sich der Keil

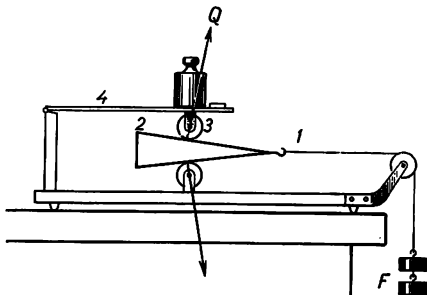


Abb. 15.
Messung des Kraftgewinns beim Keil

in einer beliebigen Lage in Ruhe befindet. Bei einer größeren Last ist das Gleichgewicht gestört, und der Keil bewegt sich nach links. Ist die Last kleiner, so bewegt sich der Keil beschleunigt nach rechts. Wir betonen, daß die Kraft F in Richtung der Längsachse des Keils wirkt, während die Richtung der Wangenkraft Q senkrecht zu den Wangen verläuft.

Allerdings wirkt bei diesem Versuch die Last (einschließlich des Brettchens und der Rolle) nicht genau senkrecht auf die Keilwangen ein. Diese Differenz ist aber bei einem kleinen Keilwinkel unbedeutend.

Wir messen die Breite a des Keilrückens und die Wangenlänge l . Bei Vernachlässigung der Reibung gilt

$$\frac{F}{Q} = \frac{a}{l}$$

oder

$$Q = F \cdot \frac{l}{a}.$$

¹ Die Deutsche Reichsbahn verwendet im allgemeinen noch Tafeln (Neigungsanzeiger), die bei Gefüllwechsel die Richtung, das Verhältnis von 1 m Anstieg zur dazugehörigen Streckenlänge und die Länge der Strecke mit konstanter Neigung wiedergeben; also 1 : 150, 800 m.

Diese Beziehung kann auf folgende Weise abgeleitet werden:

Die Kraft F , die auf den Keilrücken mit der Breite a wirkt, wird in die beiden Komponenten Q senkrecht zu den Wangen zerlegt (Abb. 16).

Die Dreiecke ABC und KLN sind gleichschenkelig, weil $\overline{AC} = \overline{BC}$ und $\overline{LK} = \overline{NK}$. Die Winkel ACB und LKN sind einander gleich, da die Schenkel paarweise senkrecht aufeinander stehen: $\overline{LK} \perp \overline{AC}$ und $\overline{NK} \perp \overline{BC}$.

Folglich gilt $\triangle ABC \sim \triangle KLN$. Dann ist

$$\frac{\overline{LN}}{\overline{LK}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{AC}}$$

oder

$$\frac{F}{Q} = \frac{a}{l},$$

woraus

$$Q = F \cdot \frac{l}{a}$$

folgt.

Da $\frac{l}{a} > 1$ ist, so wird

$$Q > F.$$

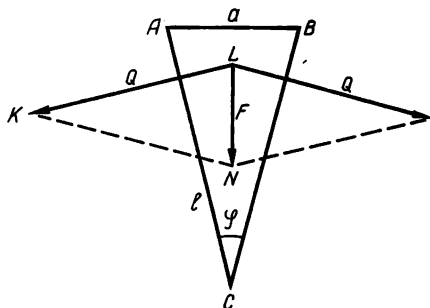


Abb. 16. Kräftezerlegung am Keil

Auf Grund dieser Beziehung untersuchen wir das Verhältnis der Wangenkraft Q zur Rückenkraft F und die Abhängigkeit dieses Verhältnisses vom Keilwinkel φ . Die Werte der folgenden Tabelle können zur Veranschaulichung dieser Abhängigkeit herangezogen werden.

Keilwinkel φ	2°	6°	10°	16°	20°	30°
Verhältnis $\frac{Q}{F}$	~28,7	~9,6	~5,1	~3,1	~2,9	~2,0

Diese Tabelle wurde auf folgende Weise erhalten: Nach Abbildung 16 ist

$$\frac{a}{2} = l \cdot \sin \frac{\varphi}{2},$$

das heißt

$$a = 2 \cdot l \cdot \sin \frac{\varphi}{2}.$$

Setzen wir diesen Wert von a in die Gleichung des Keils ein, so finden wir

$$Q = F \frac{l}{2 \cdot l \cdot \sin \frac{\varphi}{2}}$$

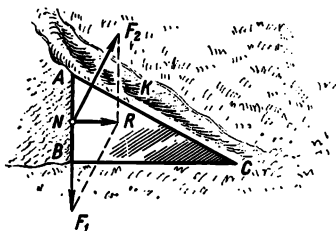
oder

$$Q = \frac{F}{2 \cdot \sin \frac{\varphi}{2}}$$

Wählen wir für den Keilwinkel die in der Tabelle angeführten Werte, so bekommen wir mit dieser Gleichung die entsprechenden Werte des Verhältnisses $\frac{Q}{F}$.

Anwendungen des Keils finden wir beim Handwerkszeug (Messer, Beil, Meißel, Stechbeitel, Zähne der Feile und des Sägeblattes), bei metallbearbeitenden Maschinen (Drehmeißel, Bohrer, Fräser) und bei landwirtschaftlichen Maschinen (Pflugschar, Zinken des Grubbers, Zinken der Egge). Der Keil dient ferner zur Befestigung eines Hobeisens oder einer Antriebsscheibe auf einer Welle. Die Schüler sind auch auf die Bedeutung der Reibung bei Keilverbindungen und auf die Haltbarkeit des Materials aufmerksam zu machen, aus denen die Schneiden der Werkzeuge hergestellt werden.

In der Landwirtschaft können wir die Kräftezerlegung am Keil anhand der Pflugschar untersuchen.



Der rechtwinklige Keil ABC soll die Pflugschar darstellen, die sich unter Emporheben einer Erdschicht K gleichförmig bewegt (Abb. 17). Die Zugkraft des Pferdes oder des Traktors wird in die beiden Komponenten F_1 und F_2 senkrecht zu den Wangen des Keils zerlegt. Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke ABC und NF_2R folgt

$$\frac{F_2}{R} = \frac{\overline{AC}}{\overline{AB}} = \frac{l}{a}$$

Abb. 17. Wirkung des Keils beim Pflügen

Bei der gleichförmigen Bewegung des Keils ohne Reibung ist demzufolge die auf die Erdschicht wirkende Kraft F_2 um den Faktor $\frac{l}{a}$ (Verhältnis der Wangenlänge l zur Rückenbreite a des Keils) größer als die Zugkraft R . Die Kraft F_2 wirkt auf die Erdschicht K , hebt sie empor und verformt sie, wobei sich diese bei feuchtem Boden krümmt und bei trockenem Boden bricht.

In Wirklichkeit ist bei der Bewegung des Keils im Boden neben der Kraft F_2 die Reibung zu berücksichtigen, die beim Gleiten der Erdschicht an

der Arbeitsfläche des Keils auftritt. Diese Kraft ist sehr beträchtlich. Deshalb muß auf den Keil bei seiner Bewegung eine wesentlich größere Kraft als R ausgeübt werden.

3. Schraube. Wir führen zunächst den Begriff der Schraubenlinie ein. Die Definition, nach der der Abstand zwischen zwei benachbarten Windungen als Ganghöhe oder Steigung der Schraube bezeichnet wird, ist nur für eingängige Schrauben gültig.

Im Versuch wird die Gleichgewichtsbedingung der Kräfte betrachtet, die auf die Schraube wirken. Das Demonstrationsmodell der Schraube besitzt eine große Ganghöhe (Abb. 18). Um die Reibung herabzusetzen, werden die sich berührenden schiefen Ebenen 1 und 2 eingefettet. Der obere Teil des Geräts gleitet unter Einwirkung des Eigengewichts nach unten.

Mit Hilfe der an der Stange 3 befestigten Federwaage wird senkrecht auf diese Stange in verschiedenen Abständen von der Achse des Geräts eine Kraft F ausgeübt. Unter Einwirkung des Drehmoments wird die schiefe Ebene 1 auf eine gewisse Höhe emporgehoben, die kleiner sei als die Ganghöhe h der Schraube. Das Drehmoment wird dabei so gewählt, daß sich der obere Teil des Geräts in einer beliebigen Lage im Gleichgewicht befindet.

Messen wir den Radius r der Stange 3 von der Achse bis zum Angriffspunkt der Kraft F , die Größe dieser Kraft, die Ganghöhe h der Schraube und das Gewicht G , so können wir experimentell nachweisen, daß die Beziehung

$$\frac{G}{F} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{h}$$

gilt. Hieraus folgt

$$G = F \frac{\pi \cdot d}{h}.$$

Wenn wir diese Gleichung untersuchen, sind die Schüler darauf aufmerksam zu machen, daß Schrauben mit großer Reibung zwischen der Schraube und ihrem Muttergewinde als Verbindungselemente Verwendung finden. Schrauben mit kleiner Reibung benutzen wir zur Erzeugung großer Kräfte, beispielsweise beim Schraubstock oder bei der Schraubenwinde.

Bei dieser Gelegenheit wollen wir auch die Feinmeßschraube behandeln, wobei wir neben dem eigentlichen Meßgerät möglichst auch ein Modell

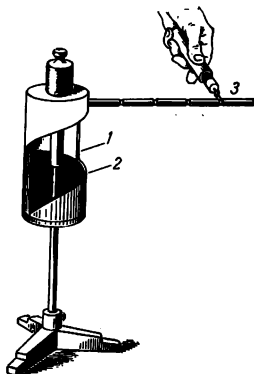


Abb. 18
Experimentelle Bestimmung
des Kräftegleichgewichts
an der Schraube

zeigen.¹ Im physikalischen Praktikum sind Messungen mit der Feinmeßschraube vorzusehen.

Nachstehend geben wir noch einige Beispiele für die Verwendung des Kräfteparallelogramms bei Berechnungen in der Technik. Mit seiner Hilfe werden die Kräfte bestimmt, die auf den Tragarm und die Stütze einer Konsole wirken, die bei Fachwerken von Dach- und Brückenkonstruktionen als Druck- und Zugkräfte auftreten und die bei den Auslegern und den Spannungstrossen eines Turmdrehkrans beziehungsweise Mastenkrans vorhanden sind. Wir nennen ferner in dieser Beziehung die Pfeiler eines Zaunes, die Pleuelstange und die Kurbel einer Dampfmaschine, die Kurbelwelle eines Verbrennungsmotors, den Drehmeißel einer Drehmaschine, die Zinken einer Egge, den Anhängepflug und das Flugzeug. Einen Teil dieser Beispiele können wir im Unterricht besprechen, für Übungsaufgaben heranziehen und das Prinzip durch Experimente veranschaulichen. Zweckmäßig sind auch Modelle (zum Beispiel Wand- und Mastenkran), die Kraftmessungen mit der Federwaage erlauben.

2. Die mechanische Energie

a) Potentielle und kinetische Energie

Die Behandlung der mechanischen Energie bereitet die Schüler auf den Energieerhaltungssatz vor und bietet dem Lehrer die Möglichkeit, zahlreiche Anwendungen aus Industrie und Landwirtschaft in den Unterricht einzubeziehen.

Zur Erläuterung des Energiebegriffes lassen sich Beispiele aus dem täglichen Leben und aus der Technik anführen, die bestätigen, daß feste, flüssige und gasförmige Körper potentielle und kinetische Energie besitzen. Der Begriff der potentiellen Energie muß jetzt aber weiter gefaßt werden als in der 6. Klasse. Ein elastisch verformter Körper besitzt ebenso potentielle Energie wie ein Körper, der sich über dem Erdboden als Bezugsfläche befindet. Der Lehrer kann dies an einigen Beispielen klarmachen. So besitzen ein zusammengedrehtes Gummiband, die zusammengedrückten Pufferfedern eines Eisenbahnwaggon, das verdichtete Gas einer Druckluftbremse und der Dampf in einem Kessel potentielle Energie.

Die potentielle Energie kann in andere Energiearten umgeformt werden. So wandelt sie sich beispielsweise bei der Expansion eines Gases oder bei der Entspannung einer Feder in kinetische Energie um, wobei das Gas beziehungsweise die Feder eine entsprechende Arbeit verrichtet. Die Arbeit ist ein Maß für die Umwandlung einer Energieform in eine andere. Das verdichtete Gas im Zylinder möge zum Beispiel die potentielle Energie U_1 besessen haben. Bei der Expansion verringerte sich diese Energie auf den Wert U_2 , wobei das Gas den Kolben vom Gewicht G um die Höhe h empor-

¹ A. I. Glasyrin: Selbstgebaute physikalische Demonstrationsgeräte und Versuche mit ihnen. Verlag APN RSFSR, 1953, Seite 18 bis 19.

hob. Die Energie des Gases nahm demzufolge um den Betrag $U_1 - U_2$ ab. Ein Maß für diese Energieänderung ist die Arbeit $G \cdot h$. Wird die Reibung vernachlässigt, so gilt bei einem isothermen Prozeß

$$U_1 - U_2 = G \cdot h.$$

Beispiele dieser Art bereiten die Schüler auf die Wärmekraftmaschinen vor. Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse bei einer sich entspannenden Feder.

Auch die leichter verständliche kinetische Energie sollte an konkreten und weitverbreiteten Beispielen aus der Technik erläutert werden. Wir finden eine Ausnutzung der kinetischen Energie beim Hammer (Einschlagen der Nägel und beim Schmieden), beim Rammbar (Einrammen der Pfähle), beim Wasserstrahl des Hydromonitors und bei Strömungsvorgängen (Wasser- und Windkraftmaschinen).

Im Unterricht kann der Einsatz des Hydromonitors anhand eines der beiden folgenden Beispiele erläutert werden.

1. Auf Großbaustellen werden Hydromonitore bei Ausschachtungsarbeiten oder zum Anschwemmen von Dämmen verwendet. Die Pumpe (I)

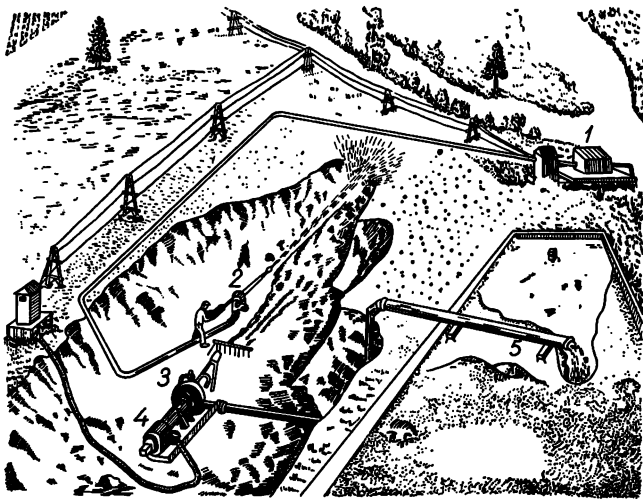


Abb. 19. Einsatz des Hydromonitors bei Erdarbeiten

(Abb. 19), die von einem Elektromotor angetrieben wird, drückt das Wasser in den Hydromonitor (2). Der Wasserstrahl tritt unter einem Druck von 8 at aus, zerstört den Boden und erzeugt eine schlammige Masse (Pulpe), in der 10 bis 15% Erde enthalten sind. Die Sauganlage (3) besitzt starke Kreispumpen, die von Elektromotoren (4) angetrieben werden. Die Pulpe wird eingesaugt und durch die Rohrleitungen (5) zur Ablagerungsstelle geführt, wo sich die Erde absetzt und das Wasser abfließt.

Beim Bau des Wolga-Don-Kanals „W. I. Lenin“ wurde die Hydromechanisierung in großem Umfang angewandt. Dabei wurden riesige Saugbagger — die größten der Welt — eingesetzt. Auch auf den Großbaustellen der Wasserkraftwerke von Kuibyschew und Stalingrad wurde die Hydromechanisierung bei Erdarbeiten herangezogen.

2. In den Direktiven des XX. Parteitagcs der KPdSU zum sechsten Fünfjahrplan wird darauf hingewiesen, daß „die Kohleförderung unter Tage mit der Hydromethode einzuführen ist“.¹ Die neue Technologie der Kohlegewinnung ermöglicht eine wesentlich höhere Arbeitsproduktivität und einen geringeren Selbstkostenpreis als bisher. Kräftige Wasserstrahlen, die aus dem Hydromonitor unter einem Druck von 45 at austreten, zerstören die Kohleschicht, zerbrechen sie in kleine Stücke und waschen die Kohle aus der Sohle aus. Das Kohle-Wasser-Gemisch wird von einer Pumpe zu Tage gefördert. Dort wird die Kohle in besonderen Zentrifugen vom Wasser getrennt, getrocknet und zum Verbraucher transportiert. Das in Klärwannen gereinigte Wasser wird durch Hochdruckpumpen über Röhren wieder den Hydromonitoren zugeführt.

b) Zugkraft eines Motors

Bei der Behandlung der Leistung kann die sehr wichtige Abhängigkeit der Zugkraft von der Geschwindigkeit eines Fahrzeugs bei konstanter Motorleistung untersucht werden. Den Schülern ist bekannt, daß die Leistung P durch die Beziehung

$$P = \frac{F \cdot s}{t}$$

beschrieben wird, in der F die Kraft, s der Weg und t die Dauer der Kraftwirkung bedeuten. Da $\frac{s}{t}$ die Geschwindigkeit einer gleichförmigen Bewegung ist, kann die Leistung durch die Gleichung

$$P = F \cdot v$$

ausgedrückt werden. Bei konstanter Motorleistung ist die Zugkraft demzufolge umgekehrt proportional der Geschwindigkeit (Abb. 20). Diese

¹ Direktiven des XX. Parteitages der KPdSU zum sechsten Fünfjahrplan für die Entwicklung der Volkswirtschaft der UdSSR in den Jahren 1956 bis 1960. Gospolitdat, 1956, Seite 13.

Abhängigkeit gilt sowohl für Fahrzeuge, wie Kraftwagen, Traktoren und Schlepper, als auch für Werkzeugmaschinen zur Metallbearbeitung. Mit Hilfe von Wechselgetrieben, die aus Zahnradsystemen bestehen, läßt sich die Drehzahl der Arbeitsteile einer Maschine verändern.

Die Kurbelwelle des Personenkraftwagens „Pobeda“ erreicht eine Drehzahl von 3600 min^{-1} , was 60 Umdrehungen je Sekunde entspricht. Diese Drehzahl kann nicht direkt auf die Fahrzeugräder übertragen werden. Aus diesem Grunde wird durch ein Wechselgetriebe die Drehzahl von der Kurbelwelle auf die Räder unter setzt. Am Umfang der Räder wirkt dann eine größere Kraft.

Umgekehrt verringert sich die Zugkraft, wenn die Geschwindigkeit bei konstanter Motorleistung erhöht wird. Während man bei Kraftwagen bestrebt ist, eine verhältnismäßig große Geschwindigkeit zu erreichen, müssen Traktoren bei ungefähr gleicher Motorleistung größere Zugkräfte entwickeln.

Die Motorleistungen des Traktors S-80 und die des Personenkraftwagens SIM sind annähernd gleich (93 PS beziehungsweise 90 PS); während jedoch beim Traktor S-80 die maximale Geschwindigkeit $9,65 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ beträgt, erreicht der Personenkraftwagen SIM $120 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Dementsprechend sind auch die Zugkräfte der Motoren verschieden: Bei der jeweils genannten Geschwindigkeit entwickelt der Traktor eine Zugkraft von 1500 kp, der Personenkraftwagen dagegen nur etwa 120 kp.

In diesem Rahmen können wir folgende Aufgaben stellen:

1. Auf einer Hobelmaschine wird von einem Werkstück ein Span mit einer Geschwindigkeit von $40 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1}$ abgehobelt. Welche effektive Leistung besitzt die Maschine, wenn bei der Bearbeitung am Tisch eine Kraft von 1000 kp angreift?
2. Die effektive Leistung des Traktors DT-54 beträgt 37 PS. Welche Zugkraft besitzt der Traktor beim ersten ($3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), beim zweiten ($4,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) und beim dritten Gang ($5,4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$)?
3. Die Lokomotive L entwickelt eine effektive Leistung von 1650 PS. Sie zieht unter Überwindung eines Widerstands von 2500 kp einen Zug. Es ist die Geschwindigkeit des Zuges zu bestimmen.

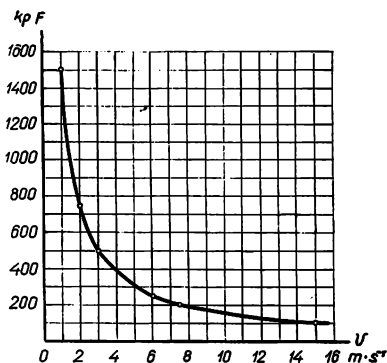


Abb. 20. Abhängigkeit der Zugkraft von der Geschwindigkeit bei konstanter Motorleistung

e) Mechanischer Stoß

Der mechanische Stoß wird in der Technik beim Schmieden, Nieten, Einrammen von Pfählen oder Spundbohlen in die Erde, Feststampfen des Bodens, Zerkleinern der Brennstoffe in der Kugelmühle, Schrotten der Körner und in vielen anderen Fällen ausgenutzt.

Bei der Untersuchung des Stoßes sollte besonders beachtet werden, daß sich während eines kleinen Zeitraums die Geschwindigkeit eines Körpers sehr stark ändert. Wir veranschaulichen dies anhand des folgenden Beispiels von P. A. Snamenski:

Ein Schienennagel wird in eine Eisenbahnschwelle eingeschlagen. Während des Stoßvorgangs, der 0,01 s dauert, dringt der Nagel 2 cm tief in die Schwelle ein. Die mittlere Geschwindigkeit beim Eindringen beträgt

$$v_m = \frac{2 \text{ cm}}{0,01 \text{ s}} = 200 \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} = 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Da die Geschwindigkeit des Schienennagels gleichmäßig auf Null abnimmt, bestimmt sich die Anfangsgeschwindigkeit v aus dem Ausdruck

$$v_m = \frac{v + 0}{2},$$

das heißt

$$v = 2 \cdot v_m = 2 \cdot 2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Hierbei beträgt die mittlere negative Beschleunigung

$$a_m = \frac{0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} - 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}}{0,01 \text{ s}} = -400 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}.$$

Dies ist eine gewaltige Beschleunigung mit negativem Betrag. Beträgt das Gewicht des Hammers 5 kp und liegt nach der Beziehung $m = \frac{G}{g}$ eine Masse von $m = \frac{5 \text{ kp}}{9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}}$ vor, so berechnet sich nach dem zweiten Newtonschen Gesetz die mittlere Kraft beim Stoß zu

$$F_m = 0,51 \frac{\text{kp} \cdot \text{s}^2}{\text{m}} \cdot 400 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 204 \text{ kp.}!$$

Dieses Beispiel veranschaulicht die Größenordnungen der Beschleunigung und der Kraft bei Stoßvorgängen. Nach einer derartigen Aufgabe können wir gleichartige Probleme lösen, indem wir die Beziehungen für die kinetische Energie und die Bewegungsgröße (Impuls) berücksichtigen. Auch hier können wir den Schülern technische Anwendungen nennen.

1. Beim Bau von Gebäuden, Brücken, Dämmen und anderen Anlagen werden in den Erdboden Pfähle eingerammt, die als Fundament dieser Bauten dienen. Heutzutage geschieht das Einschlagen der Pfähle mit Dampf- oder Explosionsrammen. Bei der Arbeit einer solchen Ramme wird die kinetische Energie des vorher emporgehobenen, schweren Rammhären ausgenutzt, der beim Fallen auf den Pfahl stößt.

In einer Reihe von Fällen werden Pfähle bis zu einer Tiefe von mehr als 10 m eingerammt.

Die Explosionsramme mit Dieselantrieb stellt eine Abart des Verbrennungsmotors dar, bei der der Kolben starr und der Zylinder beweglich angeordnet ist. Diese Explosionsramme (Abb. 21) arbeitet folgendermaßen: Der schwere, bewegliche Zylinder fällt auf den Kolben („Kompressionstakt“). Hierbei wird die Luft im Zylinder zusammengedrückt und ihre Temperatur erhöht. Am Ende des Kompressionstaktes wird in den Zylinder Kraftstoff eingespritzt. Zu diesem Zeitpunkt erfolgt die Stoßwirkung des fallenden Teils über den Metallstempel auf die Pfahlkappe. Infolge der hohen Temperatur der verdichteten Luft entzündet sich der Brennstoff und schleudert den Zylinder nach oben. Bei der Aufwärtsbewegung verliert der Zylinder an Geschwindigkeit und kommt nach 1 m bis 2 m zur Ruhe. Da er nicht festgehalten wird, fällt er wiederum nach unten. Der Zylinder umfaßt den Kolben, stößt abermals auf den Stempel und wird durch die explosionsartige Verbrennung einer neuen Kraftstoffmenge wieder nach oben geworfen. Dieser Vorgang wiederholt sich laufend. Die Ramme vollführt in der Minute bis zu 60 Stöße und schlägt den Pfahl allmählich tiefer und tiefer in die Erde ein. Der Stoßkörper einer Explosionsramme kann 1800 kp und mehr wiegen. Als Rammhär einer Dampf- oder Explosionsramme (Abb. 22) dient ein schwerer Gußkörper, der mit dem beweglichen Kolben durch eine Kolbenstange verbunden ist. Der Rammhär ruht auf dem Stoßstempel, der den Pfahl einrammt. Wie aus der Abbildung 22 hervorgeht, tritt der Dampf sowohl bei der Aufwärts- als

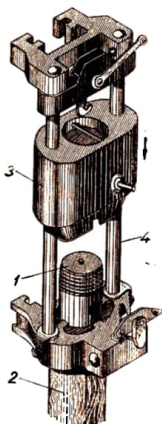


Abb. 21. Explosionsramme mit Dieselantrieb
1 Kolben, 2 Pfahl, 3 Zylinder, 4 Führungsstange

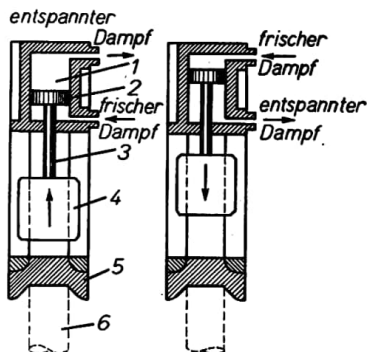


Abb. 22. Schematische Darstellung einer Dampf- oder Explosionsramme

1 Dampfzylinder, 2 Kolben, 3 Kolbenstange, 4 Rammhär, 5 Stoßstempel, 6 Pfahl

auch bei der Abwärtsbewegung in den Zylinder. Hierdurch erfolgen die Stöße häufiger (bis zu 300 Stöße in der Minute) und kräftiger als bei der Explosionsramme, da der Kolben in Verbindung mit dem Rammbar nicht nur unter der Einwirkung der Schwerkraft, sondern auch der des Dampfes niedersinkt. Nach dem gleichen Prinzip arbeitet auch der Drucklufthammer.

2. Zum Zerkleinern der Kohle für die Kohlenstaubfeuerung werden in den modernen Wärmekraftwerken sogenannte Kugelmøhlen verwendet. Die Kohle läuft vom Lager zunächst in ein Stachelwalzwerk, wo sie in kleine Stücke zerteilt wird. Hierauf geht sie in die Kugelmøhle zur weiteren Zerkleinerung. Diese Kugelmøhle besteht aus einem sich drehenden Hohlzylinder, in dem Stahlkugeln rollen. Von den gegeneinander und gegen die Wände des Zylinders stoßenden Kugeln werden die Kohlestückchen zu Staub zermahlen, der hierauf in den Feuerungen der Dampfkessel verbrannt wird. Die Leistung der Kugelmøhlen beim Zermahlen der Kohle beträgt bis $50 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$.

Auch andere Brennstoffe (wie zum Beispiel Ölschiefer) Kalkstein, Keramikstoffe und Chemikalien werden in gleicher Weise zerkleinert.

3. Der Stoßvorgang wird ebenfalls bei Hammermøhlen in der Landwirtschaft ausgenutzt. Im Møhlengehäuse befinden sich mehrere Scheiben. In den Zwischenräumen sind Hämmerchen mit der Welle fest oder beweglich verbunden. Bei hoher Drehzahl (etwa 3000 min^{-1}) befinden sich die beweglichen Hämmerchen in radialer Richtung (Abb. 23), wodurch das in die Møhle einlaufende Getreide unter der Einwirkung von Schlag und Prall zermahlen wird. Das Mahlgut passiert die Löcher des Siebes, während das größere Mahlgut wiederum den Hämmerchen zugeführt und der Zerkleinerungsprozeß fortgesetzt wird.¹

Der Lehrer kann sich auf die Behandlung eines der angeführten Beispiele beschränken; die anderen sollten nur erwähnt werden.

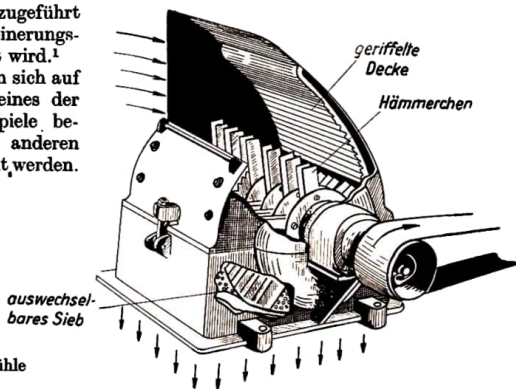


Abb. 23. Hammermøhle

¹ Dieses Verfahren wird auch bei den Hammerbrechern zur Grobzerkleinerung von Gestein, Kohle, Erzen, Salz und so weiter benutzt.

1. Die Übertragung der Drehbewegungen

Der Physiklehrplan der sowjetischen Mittelschule verlangt die Behandlung der Übertragungsarten der Drehbewegung, die vielfach die Energie von den Antriebs- zu den Arbeitsmechanismen weiterleiten. Während Reibrad- und Riementriebe auf der Reibung beruhen, nutzen die Zahnradtriebe den Eingriff der Zahnräder aus.

Bei diesem Stoffabschnitt müssen wir den Schülern gewisse kinematische und dynamische Größen¹ erklären, die diese Übertragungsarten charakterisieren. So sprechen wir von der Winkelgeschwindigkeit und der Drehzahl der Trieb- und der Arbeitswelle sowie dem Übersetzungsverhältnis als kinematische Größen, während die Kräfte, die auf den Umfang einer Antriebscheibe oder auf die Zähne eines Zahnrades einwirken sowie der Wirkungsgrad einer Übersetzung dynamische Größen darstellen. Diese Begriffe sind unbedingt durch praxisbezogene Rechenbeispiele zu festigen.

a) Reibradtrieb

Zunächst werden wir die Reibungskräfte erläutern, die bei zwei gegeneinander gedrückten Rädern auftreten. Zur Übertragung der Drehbewegung von einer Welle auf eine andere, deren Achsen parallel zueinander verlaufen, werden auf den Wellen feststehende Räder angebracht (Abb. 24). Wir drehen das Rad 1 entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn und drücken es gleichzeitig mit der Normalkraft (Anpreßkraft) N an das Rad 2. Zwischen beiden Rädern tritt dann die Reibungskraft $F = \mu \cdot N$ auf (μ = Reibungskoeffizient), die das getriebene Rad im Uhrzeigersinn dreht und die übertragbare Umfangskraft darstellt.

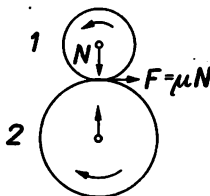


Abb. 24. Schematische Darstellung des Reibradtriebs mit Stirnrädern

Da beim Reibradtrieb die Reibung ausgenutzt wird, muß diese möglichst groß sein. Dies erreicht man durch geeignete Reibwerkstoffe, mit denen meist eins der Räder belegt ist. Es kommen dafür Leder, Gummi, Preßfaserstoff, Holz und andere Werkstoffe in Frage.

Wenn sich Reibräder ohne Schlupf drehen, haben sie gleiche Umfangsgeschwindigkeiten, aber normalerweise verschiedene Drehzahlen, da die Radien unterschiedlich sind. Wir bezeichnen mit n_1 die Drehzahl des treibenden Rades, mit n_2 die des getriebenen Rades. Das Verhältnis $i = \frac{n_1}{n_2}$

¹ Die Kinematik beschreibt Bewegungsabläufe ohne Berücksichtigung der sie verursachenden Kräfte. Die Dynamik ist die Lehre von der Bewegung der Körper unter dem Einfluß der auf sie wirkenden Kräfte.

heißt das *Übersetzungsverhältnis* oder kurz die *Übersetzung*.¹ Im allgemeinen werden Reibradtriebe bei Maschinen zur Übertragung von Leistungen bis zu 15 PS benutzt; ihr Wirkungsgrad beträgt 0,7 bis 0,8. Sie werden angewendet bei Winden, an Nähmaschinen zum Aufspulen des Fadens, bei Fahrraddynamos und so weiter.

Stehen die Wellen zueinander senkrecht, so werden zur Übertragung der Bewegung Kegelräder benutzt (Abb. 25).

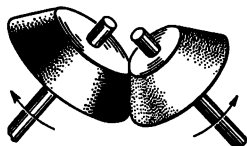


Abb. 25. Reibradtrieb mit Kegelrädern

b) Riementrieb

Riementriebe dienen zum Antrieb verschiedenartiger Arbeitsmechanismen. Um die Drehbewegung von der treibenden Welle auf die getriebene übertragen zu können, werden die Riemenscheiben fest mit den Wellen verbunden. Über die Riemenscheiben wird unter Spannung ein endloser Riemen gelegt, der aus Leder, Gummi, Baumwolle oder einem sonstigen Material ist. Macht die treibende Scheibe A (Abb. 26) n_1 Umdrehungen je

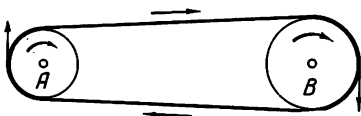


Abb. 26. Riementrieb

Minute, so bewegt sich der Riemen infolge der Reibung und dreht die getriebene Scheibe B mit n_2 Umdrehungen je Minute. Das Verhältnis $i = \frac{n_1}{n_2}$

wird auch in diesem Falle als Übersetzungsverhältnis bezeichnet. Die Umfangsgeschwindigkeiten v beider Scheiben sind

gleich, die Winkelgeschwindigkeiten hingegen verschieden; und zwar sei die Winkelgeschwindigkeit der treibenden Scheibe ω_1 , die der getriebenen ω_2 .

Sind r_1 und r_2 die Radien der treibenden beziehungsweise der getriebenen Scheibe, so gilt

$$\omega_1 = \frac{v}{r_1}, \quad \omega_2 = \frac{v}{r_2},$$

und wir haben

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{v}{r_1} : \frac{v}{r_2} = \frac{r_2}{r_1}$$

oder mit d_1 und d_2 als Scheibendurchmesser

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{d_2}{d_1}.$$

¹ In diesem Buch sind mit dem Index 1 immer Bestimmungsglied des treibenden und mit dem Index 2 die des getriebenen Rades angegeben. Das Übersetzungsverhältnis wird immer als $i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1}$ bezeichnet.

Die Winkelgeschwindigkeiten der Scheiben lassen sich auch durch die Anzahl der Umdrehungen je Sekunde ausdrücken:

$$\omega_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_1}{60}, \quad \omega_2 = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_2}{60}.$$

Demzufolge gilt

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Vergleichen wir diesen Ausdruck mit dem obigen für $\frac{\omega_1}{\omega_2}$, so finden wir

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}.$$

Dies bedeutet, daß sich das Übersetzungsverhältnis i durch das umgekehrte Verhältnis der Scheibendurchmesser ausdrücken läßt. Ist der Durchmesser der getriebenen Riemenscheibe kleiner als der der treibenden, so vergrößert sich bei der Übertragung die Winkelgeschwindigkeit; ist er hingegen größer als der Durchmesser der treibenden Scheibe, so nimmt die Winkelgeschwindigkeit ab. Die Übersetzungsverhältnisse der Riementreibe liegen gewöhnlich im Bereich zwischen 1:5 und 5:1; der Wirkungsgrad einer solchen Übertragung beträgt 0,94 bis 0,98.

Bei der Übertragung der Drehbewegung auf die Arbeitsspindel einer Drehmaschine werden teilweise Stufenscheiben verwendet (Abb. 27). Geht man mit dem Riemen von einem Scheibenpaar zu einem anderen über, so verändert sich die Drehzahl der Arbeitsspindel und damit die Drehzahl des zu bearbeitenden Werkstücks.

Zur Drehzahländerung sind ferner Wechselgetriebe gebräuchlich, die wir den Schülern bei der Behandlung der Zahnräder erklären müssen.

Bei der Leistungsübertragung wirken auf beide Riemenzweige (Arbeits- und Leertrum) verschiedene Kräfte. Der Arbeitstrum wird stärker und der Leertrum schwächer gespannt als bei stehenden Scheiben.

In der Abbildung 26 wird die sogenannte offene Übertragung dargestellt, bei der sich beide Riemenscheiben in gleicher Richtung drehen. Sollen sich beide Scheiben entgegen-

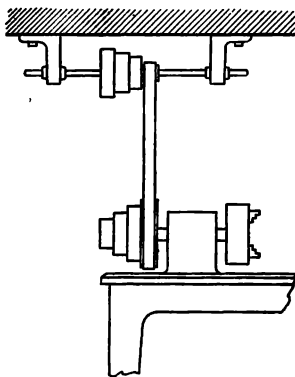


Abb. 27. Stufenscheibentrieb

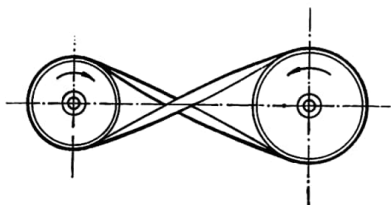


Abb. 28. Gekreuzte Übertragung

gesetzt drehen, so wird die gekreuzte Übertragung angewendet (Abb. 28).

Wenn beide Wellen unter einem gewissen Winkel zueinander stehen, werden noch zusätzlich Leitrollen angebracht, die ein Abgleiten des Riemens von den Scheiben verhindern.

c) Zahnradtrieb

Gehen wir nunmehr zum Zahnradtrieb über, so müssen sich die Schüler daran erinnern, daß bei einer zu geringen Reibung zwischen den Rädern eines Reibradtriebs ein Gleiten des treibenden Rades gegenüber dem getriebenen auftritt. Um eine feste Kopplung zwischen den Rädern zu gewährleisten, werden auf den Radumfängen Zähne angeordnet. Ein Zahn des einen Rades greift zwischen zwei Zähne des anderen Rades ein, so daß bei der Drehung beide Räder ineinandergreifen. Mit Reibradtrieben lassen sich Leistungen bis zu etwa 11 kW übertragen, während Zahnradtriebe einige zehntausend kW weiterleiten. Bei paralleler Stellung der Achsen des getriebenen und des treibenden Rades (Ritzel) werden zylindrische Zahnräder (Stirnräder) benutzt (Abb. 29a), bei gekreuzten Achsen dagegen Kegelräder (Abb. 29b). Der Wirkungsgrad der Zahnradtriebe liegt zwischen 0,91 und 0,99.

In der Abbildung 30 ist der Zahnradtrieb einer Nähmaschine dargestellt. In derselben Abbildung ist auch der Reibradtrieb zwischen dem Handrad der Maschine und der Aufspulvorrichtung zu sehen.

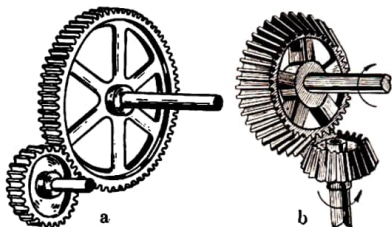


Abb. 29
Zahnradtrieb. a) Stirnräder, b) Kegelräder

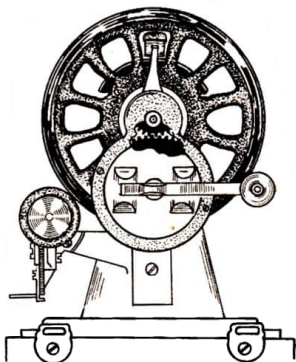


Abb. 30
Zahn- und Reibradtrieb an der Nähmaschine

Bei der Erklärung des Übersetzungsverhältnisses beim Zahnradtrieb (Abb. 31) sind um die Mittelpunkte der Räder zwei sich berührende Kreise zu zeichnen, die durch die Berührungspunkte der Zahnräder gehen. Dabei liegen die Füße der Zähne innerhalb des jeweiligen Kreises, die Köpfe aber außerhalb. Die erhaltenen Kreise werden als *Teilkreise* bezeichnet. Unter der Übersetzung versteht man das umgekehrte Verhältnis der Teilkreisdurchmesser d_o :

$$i = \frac{d_{o_2}}{d_{o_1}}.$$

In dieser Beziehung sind d_{o_1} und d_{o_2} die Teilkreisdurchmesser des treibenden beziehungsweise des getriebenen Rades.

Das Übersetzungsverhältnis beim Zahnradtrieb drücken wir aber besser durch das Verhältnis der Zähnezahlen beider Räder aus. Hierzu führen wir den Begriff der Teilung ein. Wir verstehen unter der Teilung t die Bogenlänge auf dem Teilkreis zwischen den Mittellinien zweier benachbarter Zähne. Selbstverständlich erhalten wir den gleichen Wert, wenn wir die Summe aus der Zahndicke und der Zahnückenweite (letztere gibt den Abstand zwischen zwei benachbarten Zähnen an) auf dem Teilkreis ermitteln.

Wir bezeichnen mit z_1 und z_2 die Zähnezahlen, mit n_1 und n_2 die Drehzahlen und mit d_{o_1} und d_{o_2} die Durchmesser der Teilkreise des treibenden beziehungsweise des getriebenen Rades.

Folglich gilt

$$\frac{\pi \cdot d_{o_1} \cdot n_1}{60} = \frac{\pi \cdot d_{o_2} \cdot n_2}{60}.$$

Daraus ergibt sich das Übersetzungsverhältnis

$$i = \frac{d_{o_2}}{d_{o_1}} = \frac{n_1}{n_2}, \quad (\text{I})$$

während für die Kreisumfänge gilt

$$\pi \cdot d_{o_1} = z_1 \cdot t,$$

und

$$\pi \cdot d_{o_2} = z_2 \cdot t.$$

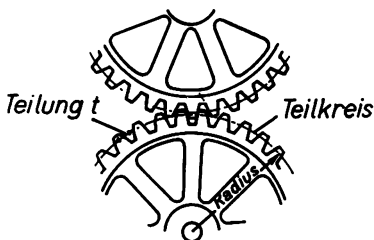


Abb. 31. Teilkreise bei Zahnradern

Deshalb wird

$$\frac{d_{o1}}{d_{o2}} = \frac{z_1}{z_2} \quad (\text{II})$$

Vergleichen wir die Ausdrücke (I) und (II), so finden wir für das Übersetzungsverhältnis den Ausdruck

$$i = \frac{z_2}{z_1}$$

In der Praxis liegt der Wert von i in den Grenzen zwischen 1:10 und 10:1.

Bei einem System von Zahnrädern drehen sich die äußersten in entgegengesetzter Richtung, wenn eine gerade, und in gleicher Richtung, wenn eine ungerade Anzahl von Rädern vorliegt. Wir wollen jetzt den Kraftgewinn beim Zahnradtrieb und die Leistungsübertragung unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades behandeln. Dies läßt sich am besten in folgender Weise erreichen: Zuerst erinnern wir an die Wirkung des Wellrads, das aus einer Welle mit dem Radius r_1 und einem Rad mit dem Radius R_1 besteht. Auf dessen Umfang wirkt eine Kraft F ein (Abb. 32), die die Last Q hebt. Das Wellrad befindet sich im Gleichgewicht, wenn die Drehmomente gleich sind, das heißt, wenn die Gleichung

$$Q \cdot r_1 = F \cdot R_1$$

gilt.

Um die Last Q zu halten, muß die Kraft

$$F = Q \frac{r_1}{R_1}$$

aufgewendet werden.

Da $\frac{r_1}{R_1}$ ein echter Bruch ist, gilt $F < Q$. Die zum Halten der Last Q erforderliche Kraft F kann noch verringert werden, wenn das Rad A mit Zähnen versehen und durch einen Zahnradtrieb mit dem Zahnrad B gekoppelt wird, das einen Radius r_2 auf-

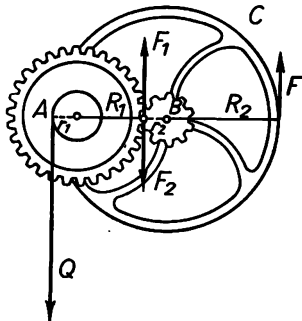


Abb. 33. Kraftwirkung bei der Kopplung zweier Wellräder durch einen Zahnradtrieb

weist (Abb. 33). Wir bestimmen jetzt die Kraft F , die an dem Rad C angreifen muß, das sich mit dem Ritzel B auf einer Achse befindet.

Die Last Q wirkt auf die Zähne des Zahnrads B mit der nach oben gerichteten Kraft F_1 . Das Zahnrad A ist im Gleichgewicht, wenn auf seine Zähne seitens des Zahnrads B eine nach unten gerichtete Kraft der Größe $F_2 = F_1$ einwirkt, so daß die Drehmomente gleich sind:

$$F_2 \cdot R_1 = Q \cdot r_1.$$

Hieraus folgt

$$F_2 = Q \frac{r_1}{R_1}.$$

Um die Räder B und C im Gleichgewicht zu halten, muß an dem Umfang des großen Rades eine Kraft F angreifen, die durch Gleichung

$$F \cdot R_2 = F_1 \cdot r_2$$

bestimmt wird.

Da $F_1 = F_2$, erhalten wir beim Einsetzen von F_2 in den letzten Ausdruck die Gleichung

$$F \cdot R_2 = Q \frac{r_1 \cdot r_2}{R_1}$$

oder

$$F = Q \frac{r_1 \cdot r_2}{R_1 \cdot R_2}.$$

Der Vergleich dieses Ausdrucks mit der Gleichung zur Bestimmung der Kraft F beim Wellrad $\left(F = Q \frac{r_1}{R_1}\right)$ zeigt, daß bei der Kopplung zweier

Wellräder durch einen Zahnradtrieb die Kraft F zum Heben ein und derselben Last wesentlich verringert werden kann. Auf diesem Prinzip beruht die Seilwinde.

Die Kraft ist kleiner als die Last: $F < Q$. Nach der Goldenen Regel der Mechanik wird auch die Hubgeschwindigkeit v_1 der Last Q gegenüber der Verschiebungsgeschwindigkeit v_2 des Angriffspunkts der Kraft F um so kleiner, je kleiner die Kraft F im Verhältnis zur Last Q ist. Demzufolge gilt

$$F \cdot v_2 = Q \cdot v_1.$$

Wie wir bereits oben erwähnten, können dadurch bei konstanter Motorleistung durch ein Zahnradgetriebe beliebige Drehzahlen erreicht werden. Dies geschieht bei metallbearbeitenden Maschinen (Bohr-, Dreh- und Fräsmaschinen) sowie bei Kraftwagen, Traktoren und Zugmaschinen durch Wechselgetriebe.

Als Anwendungsbeispiel für den Zahnradtrieb können wir den Aufbau und die Wirkungsweise des Wechselgetriebes behandeln, während auf einer Exkursion die Seilwinde erklärt werden kann.

Der Übertragungsmechanismus der einfachsten Seilwinde besteht aus einem Paar von Zahnrädern; leistungsfähigere Winden besitzen zwei Zahnradpaare (Abb. 34). Mit Hilfe einer Kurbel oder eines Elektromotors wird das Ritzel 1 in Drehung versetzt, das in das Zahnrad 2 eingreift. Da sich das Ritzel 3 mit ihm auf einer Welle befindet, wird dieses ebenfalls gedreht. Hiervon wird wiederum das Zahnrad 4 angetrieben. Dieses Zahnrad befindet sich mit der Trommel 5, auf die die Trosse aufgespult wird, auf einer gemeinsamen Welle. Der Wirkungsgrad der Seilwinde beträgt etwa 0,8.

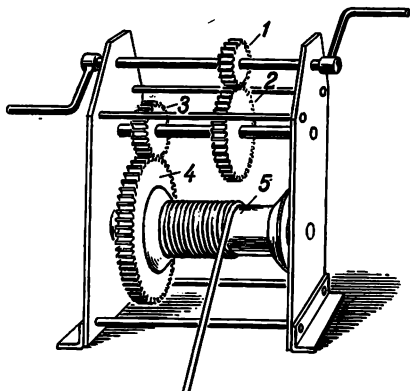


Abb. 34. Seilwinde mit Handantrieb

Es ist nicht nötig, die Gleichung für das Übersetzungsverhältnis eines komplizierten Zahnradgetriebes abzuleiten. An einem konkreten Zahlenbeispiel können wir die Umfangsgeschwindigkeit der Trommel und den Kraftgewinn bei der oben dargestellten Winde berechnen.

Die treibende Welle der Winde besitzt eine Drehzahl von 42 min^{-1} . Zu bestimmen sind:

1. die Hubgeschwindigkeit v der Last, wenn das eine Zahnradpaar der Winde 9 und 27, das andere 10 und 50 Zähne besitzt und der Trommeldurchmesser 20 cm mißt;
2. die auf die Last einwirkende Kraft F , wenn die Leistung 0,2 PS und der Wirkungsgrad der Winde 0,8 beträgt.

Das Zahnrad 2, das vom Ritzel 1 angetrieben wird, erreicht eine Drehzahl von $42 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{9}{27} = 14 \text{ min}^{-1}$. Mit derselben Drehzahl wird das Ritzel 3 gedreht, das mit ihm auf einer Welle sitzt. Das Ritzel 3 dreht hingegen das Zahnrad 4 zusammen mit der Trommel 5, die auf eine Drehzahl von $14 \text{ min}^{-1} \cdot \frac{10}{50} = 2,8 \text{ min}^{-1}$ kommen. Da die Trommel

räder 1-2-5-8. Eine derartige Kombination der Zahnräder entspricht dem größten Übersetzungsverhältnis ins Langsame von 3,53:1. Die Geschwindigkeit des Kraftwagens ist bei dieser Übersetzung am kleinsten, die Zugkraft hingegen am größten. Im 1. Gang fährt man das Auto an. Mit diesem Gang fährt man auch auf sehr schlechten oder stark ansteigenden Straßen.

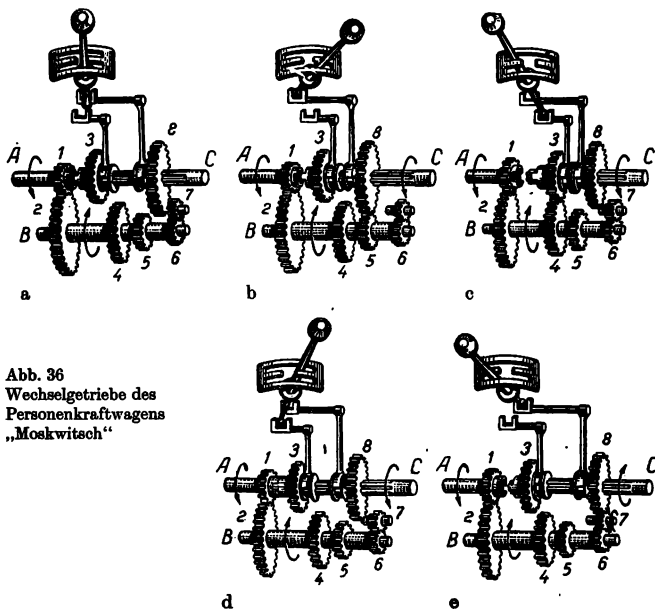


Abb. 36
Wechselgetriebe des
Personenkraftwagens
„Moskwitsch“

Lösen wir das Zahnrad 8 vom Zahnrad 5, so läßt sich das Zahnrad 3 so weit nach rechts schieben, bis es im Eingriff mit dem Zahnrad 4 steht, das sich auf der Vorgelegewelle B befindet (Abb. 36 c). Die Drehung wird dann von der Antriebswelle A zur Hauptwelle C durch die Zahnräder 1-2-4-3 übertragen. Das Übersetzungsverhältnis beträgt 1,74:1, was dem 2. Gang entspricht. Die Geschwindigkeit ist größer als beim 1. Gang. Die Zugkraft ist infolgedessen kleiner. Im 2. Gang wird auf schlechten Straßen oder im Bergland gefahren.

Wenn der Fahrer mit dem Schalthebel das Zahnrad 3 mit dem Zahnrad 1 koppelt (Abb. 36 d), so wird die Drehbewegung direkt von der Welle A

auf die Welle *C* übertragen. In diesem Falle besitzen beide Wellen die gleiche Drehzahl, und das Übersetzungsverhältnis beträgt 1:1. Diese Übertragung wird direkter Gang genannt und entspricht beim „Moskwitsch“ dem 3. Gang. Im 3. Gang wird auf normalen Straßen ohne wesentliche Steigungen gefahren.

Beim Eingriff der Zahnräder 1-2-6-7-8 (Abb. 36e) fährt der Kraftwagen rückwärts; das Übersetzungsverhältnis dieses Zahnradsystems beträgt 4,6:1.

Es ist zu beachten, daß sich die Hauptwelle abgesehen vom Fall der Abbildung 36e immer in derselben Richtung dreht. Beim Einschalten des Zwischenrades 7 dreht sich jedoch die Welle *C* entgegengesetzt (Rückwärts-gang).

Wir wollen nicht von den Schülern verlangen, daß sie das Schema des Wechselgetriebes aufzeichnen oder seinen Aufbau aus dem Gedächtnis erläutern können. Es genügt, wenn die Schüler das Prinzip des Wechselgetriebes verstehen und die Bewegungsübertragung von einem Zahnrad zum anderen an einem Anschauungsbild erklären können.

Als Anwendungsbeispiel für eine Kraftübertragung durch Kegelzahnräder können das Ausgleichs-(Differential-)getriebe eines Kraftwagens oder eine Windkraftanlage herangezogen werden. Wir wollen näher auf die Windkraftanlage eingehen, bei der die Drehung eines Windrades auf eine vertikale Welle und von hier wiederum auf eine horizontale Welle übertragen wird. Auf der letzteren befinden sich zwei Riemenscheiben, die verschiedene landwirtschaftliche Maschinen, Pumpen und so weiter antreiben können (Abb. 37).

Ein vereinfachtes Schema einer derartigen Übertragung kann von den Schülern gezeichnet werden. Bei der Wiederholung des Lehrstoffs und bei der Lösung von Aufgaben ist es günstig, ein solches Schema heranzuziehen, um die Schüler mit Übertragungsarten in der landwirtschaftlichen Produktion vertraut zu machen.

Bei der zusammenfassenden Betrachtung der Übertragungsarten für Drehbewegungen kann den Schülern die Abbildung 38 gezeigt werden.

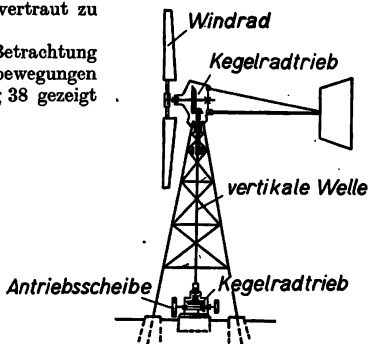
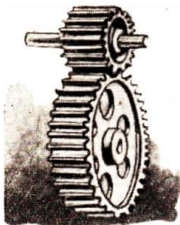
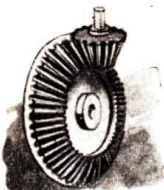


Abb. 37. Windkraftanlage.
Übertragung der Drehbewegung

Stirnräder



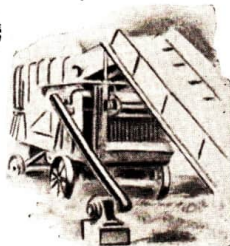
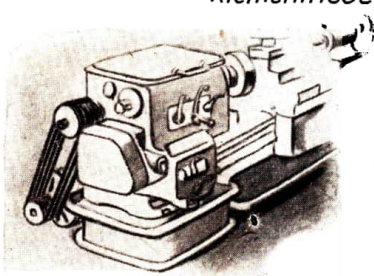
*Zahnradtriebe
Kegelräder*



Schraubenräder



Riementriebe



Reibradtriebe

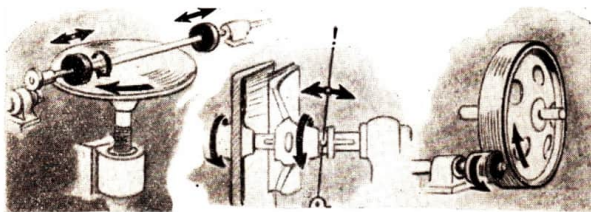


Abb. 38. Übertragungsarten für Drehbewegungen

2. Strömungslehre

a) Strömende Flüssigkeiten und Gase

Bei der Einführung in dieses Stoffgebiet können die Schüler selbst verschiedene Beispiele für die Bewegung von Flüssigkeiten und Gasen nennen. Sie werden vielleicht die Wasser-, Erdöl- und Gasleitung sowie Kanäle, Flüsse, Meeres- und Luftströmungen aufzählen.

Wir werden ihnen daraufhin erklären, daß die genannten technischen Einrichtungen oder Naturvorgänge nur verstanden werden können, wenn bestimmte physikalische Erscheinungen, Begriffe und Gesetze beherrscht werden. Bei einem solchen methodischen Vorgehen wird verhindert, daß die Schüler die Anwendungen dieses Stoffgebiets zu eng sehen und diese vielleicht nur auf einige Demonstrationsbeispiele beziehen. Darüber hinaus gewinnen die Schüler ein größeres Interesse an den zu untersuchenden Problemen. Wenn wir die oben genannten Beispiele näher betrachten, können wir auch erkennen, wie diese Bewegungsvorgänge zustande kommen. Die Ursache können sein: die Schwerkraft, der statische Auftrieb als Voraussetzung für die Wärmeströmung oder der Druck, der von Pumpen, Verdichtern und Gebläsen hervorgerufen wird.

In der Hydro- und Aerodynamik ist der Begriff der Stromstärke¹ einer Flüssigkeit oder eines Gases und damit im Zusammenhang die Kontinuitätsgleichung wichtig. Dies wird den Schülern bewußt, wenn wir über die Planung eines Wasserkraftwerks sprechen oder die Leistung eines solchen berechnen.

Unter der Stromstärke einer Flüssigkeit verstehen wir den Quotienten aus dem Volumen einer Flüssigkeitsmenge und der Zeit. Wir bezeichnen die Stromstärke mit i . Wenn wir das Profil eines Flußbettes mit speziellen Geräten ermitteln und daraus den Flächeninhalt A seines Querschnittes berechnen sowie die Strömungsgeschwindigkeit v messen, erhalten wir $i = A \cdot v$ (Abb. 39).

Wir beschreiben den Schülern die Verfahren zur Bestimmung der Werte von A und v bei modernen hydrometrischen Untersuchungen.

Das Profil eines Flußbettes läßt sich mit Hilfe hydrostatischer oder akustischer Profilschreiber bestimmen. Bei den hydrostatischen Profilschreibern wird die Abhängigkeit des Drucks von der Wassertiefe ausgenutzt.



Abb. 39. Bestimmung der Wasserstromstärke eines Flusses

¹ Die in der Strömungslehre wenig gebräuchliche Stromstärke $i = \frac{V}{t}$ wird hier für die weniger exakten Ausdrücke, wie sekundliche Durchflußmenge, Schluckfähigkeit einer Turbine und so weiter, verwendet.

Das Echolot (akustischer Profilschreiber) (Abb. 40) ermittelt aus der Laufzeit des Schalles die Wassertiefe. Ohne auf Einzelheiten einzugehen, können wir die Schüler mit dem Prinzip eines dieser Geräte vertraut machen. .

Zur Veranschaulichung der Stromstärken einiger Flüsse wollen wir folgende Werte nennen:

Im Kreis Shigulja erreicht die Wasserstromstärke der Wolga den Wert $9300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Die maximale Wasserstromstärke des Jenissei bei Krasnojarsk

beträgt $23900 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, während sich die des Ob bei Nowosibirsk auf $15000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ beläuft.

Die Strömungsgeschwindigkeit in einem Fluß kann mit Flügelradzählern gemessen werden. Das Wasser versetzt das Flügelrad, das auf einer gut gelagerten Welle befestigt ist, in Drehung. Da die Drehzahl von der Strömungsgeschwindigkeit abhängt, läßt sich letztere daraus ermitteln. Mit diesen Flügelradzählern lassen sich Geschwindigkeiten bis zu $12 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ messen.

Die Strömungsgeschwindigkeit einer Flüssigkeit oder eines Gases (beispielsweise Luft) läßt sich auch mit dem Prandtschen Staurohr messen (Abb. 41). Dieses bestimmt den Staudruck als Differenz aus dem Gesamtdruck und dem statischen Druck. Zu diesem Zweck ist der eine Schenkel eines U-förmigen Manometers mit einer Öffnung im Staupunkt des Staurohrs verbunden, so daß in diesem Schenkel der Gesamtdruck wirkt.

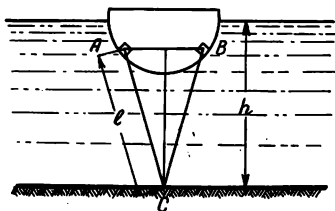


Abb. 40. Schematische Darstellung des Echolotverfahrens
A Schallquelle, B Schallempfänger, h Wassertiefe, l halber Schallweg

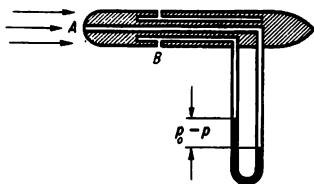


Abb. 41. Prandtsches Staurohr zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit

Der andere Schenkel des Manometers steht mit seitlichen Öffnungen beziehungsweise einem ringförmigen Schlitz des Staurohrs in Verbindung, so daß in diesem Schenkel der statische Druck wirken kann. Da der Staudruck von der Strömungsgeschwindigkeit abhängt, kann letztere berechnet oder an einer entsprechenden Skale direkt abgelesen werden. Solche Staurohre messen auch bei Flugzeugen die Geschwindigkeit relativ zur umgebenden Luft.

Da sich bei strömenden Flüssigkeiten und Gasen der statische Druck verringert, rufen diese eine Saugwirkung hervor. Es wäre verfehlt, wenn der Lehrer nur den Zerstäuber vorführen und behandeln würde, wie er zum

Desinfizieren benutzt wird, da es zahlreiche technische Anwendungen gibt. So werden in der Industrie mit Spritzpistolen Farben und Metallschichten aufgetragen. Im Bauwesen wird das zeitraubende Streichen der Räume ebenfalls mit Spritzpistolen erledigt, und Spritzdüsen tragen den Mörtel auf, während in der Landwirtschaft die Schädlingsbekämpfung auf landwirtschaftlichen Kulturen mit Zerstäubern erfolgt. Weitere Anwendungen finden wir bei Wasserstrahlpumpen und beim Vergaser.

Anhand des Zerstäubers, der Wasserstrahlpumpe und des Vergasers (über den unten noch ausführlicher gesprochen wird) können wir den Schülern eindringlich zeigen, wie ein bestimmtes physikalisches Prinzip verschiedene technische Anwendungen findet.

b) Strömungswiderstand und aerodynamischer Auftrieb

Während wir bisher unser Hauptaugenmerk auf den Strömungsvorgang selbst gerichtet haben, betrachten wir jetzt das Verhalten der Körper, die sich im Wasser oder in der Luft bewegen. Hierzu können die Schüler die verschiedensten Fahrzeuge, wie Kraftwagen, Lokomotiven, Schiffe, Boote und Flugzeuge, aufzählen. Diese werden vorwiegend durch Kraftmaschinen angetrieben, die den Widerstand des umgebenden Mittels überwinden.

Die Entstehung des Strömungswiderstandes bei einem Körper, der sich in einer Flüssigkeit oder einem Gas bewegt, können wir nur verstehen, wenn wir die innere Reibung in diesen Mitteln berücksichtigen. Auf Grund der inneren Reibung bildet sich am Körper eine Grenzschicht aus, in der ein Reibungswiderstand hervorgerufen wird. Außerdem ergibt sich hinter dem Körper eine Wirbelbildung, die den größten Beitrag für den Strömungswiderstand liefert.

Durch eine Dimensionsbetrachtung können wir den Schülern zeigen, daß der Strömungswiderstand F_w auf Grund des 2. Newtonschen Gesetzes zunächst angenommen werden kann in der Form

$$F_w \approx \rho \cdot v^2 \cdot A.$$

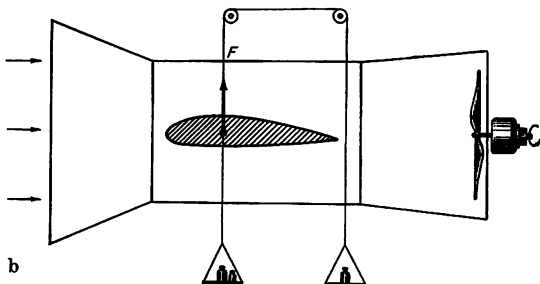
Hierbei sind ρ die Dichte des Mittels, A der maximale Körperquerschnitt senkrecht zur Strömung und v die Strömungsgeschwindigkeit. In dieser Beziehung wird jedoch die Abhängigkeit des Strömungswiderstandes von der Körperform, von der Beschaffenheit der Oberfläche und von anderen Faktoren nicht erfaßt. Deshalb führen wir noch den Widerstandsbeiwert c_w ein, der in erster Linie die Form des Körpers berücksichtigt und dimensionslos ist. Damit in unserer endgültigen Gleichung der Staudruck $\frac{\rho}{2} \cdot v^2$

erscheint, können wir bei Einführung des konstanten Wertes c_w den Faktor $\frac{1}{2}$ berücksichtigen. Wir bekommen dann den Strömungswiderstand zu

$$F_w = c_w \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot A.$$



Abb. 42. Windkanalmessung
a) des Strömungswiderstandes,
b) des Auftriebs



Der Widerstandsbeiwert c_w ist für alle Körper, die geometrisch ähnlich sind, nahezu gleich. Bestimmt man c_w beispielsweise für das Modell eines Kraftwagens oder eines Flugzeugs im Windkanal (Abb. 42a), so kann man den Strömungswiderstand bei beliebigen Werten von ρ , A und v berechnen.¹

Mit Hilfe des Widerstandsgesetzes können wir beispielsweise folgende wichtige Anwendungsaufgaben lösen:

1. Mit welcher Geschwindigkeit sinkt ein Fallschirmspringer, wenn der Widerstand des Fallschirms gleich dem Gewicht des Fallschirmspringers (70 kp) und des Fallschirms (10 kp) ist?

$$c_w = 0,7; A = 60 \text{ m}^2; \rho_{\text{Luft}} = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \text{ (in Erdnähe).}$$

2. Wie groß ist der Strömungswiderstand beim Personenkraftwagen „Moskwitsch“, wenn dieser $90 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ fährt und sein Querschnitt etwa 2 m^2 beträgt?

$$c_w = 0,3; \rho_{\text{Luft}} = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

3. Wie groß sind die Strömungswiderstände bei einer Lokomotive, die einen Querschnitt von 5 m^2 besitzt und die mit einer Geschwindigkeit von a) $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ und b) $100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ fährt?

$$c_w = 0,2; \rho_{\text{Luft}} = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

Abschließend betrachten wir den stromlinienförmigen Körper. Den Schülern wird erläutert, warum die Verringerung des Strömungswiderstandes bei schnellbewegten Fahrzeugen wichtig ist. In diesem Falle wird

¹ Dies trifft nur für gleiche Reynoldssche Zahlen zu.

weniger Energie und folglich auch weniger Kraftstoff zur Überwindung des Widerstands verbraucht, wodurch sich der Wirkungsgrad des Fahrzeugs vergrößert. Aus diesem Grunde wurden beispielsweise die Formen der modernen Personenkraftwagen (SIL, SIM, Moskwitsch 407) im Vergleich zu den älteren Typen aerodynamisch günstiger gestaltet. Dabei muß natürlich wie bei vielen technischen Problemen ein Kompromiß geschlossen werden, da man den Raumbedarf der Fahrgäste und andere Faktoren berücksichtigen muß.

Bei der Einführung des *aerodynamischen Auftriebs* müssen zunächst die physikalischen Erscheinungen erläutert werden, die diesen hervorrufen. Dabei ist auch die Zirkulationsströmung um die Tragfläche des Flugzeugs heranzuziehen. Für die Schüler der 9. Klasse muß durch eine einfache Darstellung erläutert werden, warum sich der Auftrieb F_a eines Flugzeugs nach der Gleichung

$$F_a = c_a \cdot \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot A$$

berechnen läßt.

Hierbei ist c_a der Auftriebsbeiwert, der von der Form des Tragflügelprofils, vom Anstellwinkel und von anderen Faktoren abhängt. Der Wert c_a wird für ein bestimmtes Tragflügelprofil und für einen gegebenen Anstellwinkel experimentell bestimmt (Abb. 42 b). Kennt man c_a , so läßt sich die Größe des Auftriebs für gegebene Werte von ρ , A und v ermitteln. Dabei verstehen wir unter A die Fläche der Tragfläche.

Folgende Anwendungsaufgaben können als Beispiele dienen:

1. Welche Geschwindigkeit hat ein Flugzeug bei einem geradlinigen horizontalen Flug, wenn das Gewicht 1500 kp, die Fläche der Tragfläche 30 m² und der Auftriebsbeiwert 1,08 bei einem Anstellwinkel von 10° betragen?

$$\rho_{\text{Luft}} = 1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}.$$

Hinweis: Beim horizontalen Flug ist das Gewicht des Flugzeugs gleich dem Auftrieb.

2. Es ist der Auftrieb eines Flugzeugs mit einer Fläche der Tragfläche von 50 m² bei einer Geschwindigkeit von 500 km · h⁻¹ zu berechnen, wenn der Auftriebsbeiwert 1,22 bei einem Anstellwinkel von 14° beträgt.
3. Unter den Bedingungen der vorherigen Aufgabe ist der Widerstand bei gleichförmiger Bewegung des Flugzeugs zu ermitteln, wenn $c_w = 0,22$ ist.¹

Hinweis: Bei gleichförmiger Bewegung ist der Widerstand gleich der Zugkraft.

Nachdem wir das Zustandekommen des aerodynamischen Auftriebs geklärt haben, besprechen wir die Hauptteile des Flugzeugs (Abb. 43) und

¹ Bei einem Tragflügel wird in die Widerstandsgleichung nicht die Stirnfläche, sondern die Fläche des Tragflügels eingesetzt, was durch einen konstanten Faktor erreicht wird, der in c_w eingeht.

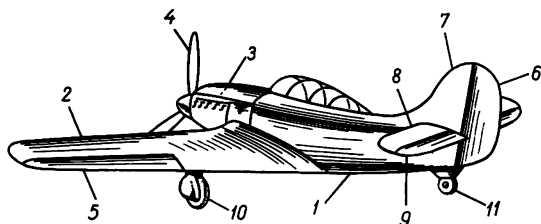


Abb. 43. Hauptteile des Flugzeugs

1 Rumpf, 2 Tragfläche, 3 Motor, 4 Luftschraube, 5 Querruder.
6 Seitenruder, 7 Seitenflosse, 8 Höhenflosse, 9 Höhenruder.
10 Fahrwerk, 11 Spornrad

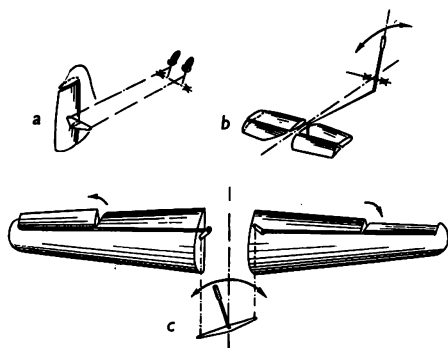


Abb. 44. Schematische Darstellung der Flugzeugsteuerung

- Das Flugzeug dreht sich um die Hochachse nach rechts, wenn das rechte Pedal gedrückt wird. Dabei wird das Seitenruder nach rechts bewegt, und eine Luftkraft drückt das Rumpffende nach links. Beim Kurvenflug müssen außerdem die Querruder betätigt werden.
- Das Flugzeug sinkt, wenn der Steuerknüppel nach vorn gedrückt wird. Dadurch wird das Höhenruder nach unten bewegt, und eine aerodynamische Kraft dreht das Flugzeug um seine Querachse.
- Das Flugzeug dreht sich um seine Längsachse, wenn der Steuerknüppel nach rechts oder links bewegt wird. Dadurch schlagen die Querruder jeweils in entgegengesetzter Richtung aus.

ihre Funktionen. Wir stellen noch einmal heraus, daß beim stationären Horizontalflug die Schubkraft gleich dem Widerstand und der Auftrieb gleich dem Flugzeuggewicht sein muß. Weiterhin kommen wir darauf zu sprechen, unter welchen Bedingungen ein Flugzeug steigt oder sinkt. Dies ist dann auch der Ausgangspunkt für die Behandlung der Flugzeugsteuerung, die die Schüler meist besonders interessiert. Wir erklären die Steuerung am besten anhand einer schematischen Darstellung, die der Abbildung 44 entspricht.

Dieses Thema schließen wir ab, indem wir auf die zahlreichen Einsatzmöglichkeiten moderner Flugzeuge in der Volkswirtschaft eingehen. Wir sprechen vom Flugzeug als Transportmittel für Personen,

Fracht und Post. In der Landwirtschaft werden die Flugzeuge in steigendem Maße zur Düngung und zur Schädlingsbekämpfung eingesetzt. Aber auch zur Waldbrandbekämpfung, bei der Jagd auf Raubtiere und für viele andere Zwecke werden Flugzeuge herangezogen.

c) Kinetische Energie des fließenden Wassers und des Windes

Die kinetische Energie des fließenden Wassers und des Windes wird in den Wasserturbinen beziehungsweise bei den Windrädern ausgenutzt. Da diese Kraftmaschinen in volkswirtschaftlicher Hinsicht wichtig sind, müssen wir in der Strömungslehre ihren grundsätzlichen Aufbau und ihre Arbeitsweise mit behandeln. Verhältnismäßig ausführlich betrachten wir die *Wasserturbinen*, die es uns gestatten, die Energie der „weißen Kohle“ auszunutzen. Hierbei beschäftigt uns zunächst die Frage: „Auf welche Weise erhält das strömende Wasser seine Energie?“ Diese Frage können die Schüler bereits in einfacher Form beantworten. Sie wissen, daß bei einem Fluß von der Quelle bis zur Mündung ein Gefälle vorliegt. Da das Wasser der Schwerkraft unterliegt, fließt es von einem Ort mit der Höhe h_1 zu einem anderen mit der geringeren Höhe h_2 . Offensichtlich hängt dabei die Größe der Strömungsgeschwindigkeit v von der Höhendifferenz ab, und es ergibt sich bei Vernachlässigung der Reibung

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_2)}.$$

Da die kinetische Energie auf Grund der Beziehung $W_{kin} = \frac{m}{2} \cdot v^2$ stark von der Strömungsgeschwindigkeit v abhängt, sind größere Gefälle besonders nutzbringend. Deshalb sind Flüsse mit geringem Gefälle in ihrem natürlichen Zustand für die Ausnutzung der Energie schlecht geeignet.¹ Außerdem ist selbstverständlich mit zu berücksichtigen, daß die kinetische Energie auch von der Wassermenge abhängt.

Um die Hydroenergie rationell und vollständig zur Gewinnung von Elektroenergie ausnutzen zu können, ist es erforderlich, Staudämme zu errichten. Dadurch werden an bestimmten Stellen des Flußlaufs künstlich größere Niveau- und damit Druckunterschiede geschaffen. Wir können bildlich gesprochen sagen, daß an diesen Stellen die Strömungsenergie konzentriert wird.

Die Schüler wissen bereits, daß jeder emporgehobene Körper eine gewisse potentielle Energie besitzt und daß er beim Fallen Arbeit verrichten kann. Das vor dem Staudamm gesammelte Wasser weist ebenfalls einen Energievorrat auf, den man ausnutzen kann, wenn man das ausfließende Wasser auf die Schaufeln eines Turbinenrades richtet. Die von der Wasserturbine entwickelte Leistung ist dann vom Gefälle und von der Wasserstromstärke abhängig.

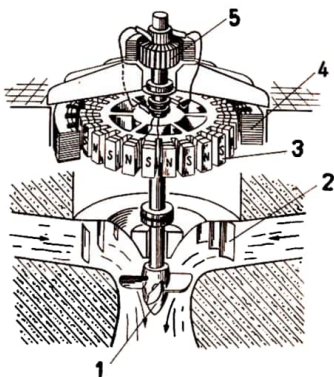
¹ Beispielsweise beträgt die Neigung der Wolga zwischen Kuibyschew und Stalingrad 0,00004. Dies bedeutet, daß der Fluß auf jeden Kilometer dieser Strecke im Durchschnitt 4 cm fällt.

Abb. 45. Schematische Darstellung eines Hydroaggregats (Turbine mit Generator)

1 Laufrad der Turbine, 2 Leitschaufeln der Turbine, 3 Läufer des Generators, 4 Ständer des Generators, 5 Erregermaschine (Gleichstromgenerator)

Der Ständer enthält die Wicklungen, in denen der Strom induziert wird. Die Wicklungen des Läufers erhalten ihren Strom von der Erregermaschine.

(Schema von W. G. Glasyrin)



In den Wasserturbinen wird die kinetische Energie des strömenden Wassers in kinetische Energie der Rotation von Maschinenteilen umgewandelt. Gewöhnlich ist die Turbine direkt mit dem Generator gekoppelt, der die mechanische Energie in elektrische umwandelt (Abb. 45).

Wenn wir den Schülern die physikalischen Grundlagen der Turbine erläutern, brauchen wir nicht zu ausführlich auf technische Einzelheiten einzugehen. Es genügt auch, eine Turbinenart — entweder die Freistrah- oder eine Überdruckturbine — näher zu betrachten.

Freistrah- (Pelton-) Turbinen befinden sich in Wasserkraftwerken, die über erhebliche Gefälle — in der Größenordnung von 200 m und darüber — und kleine Wasserstromstärken verfügen. Das Laufrad einer solchen Turbine trägt becherförmige Schaufeln, die gleichmäßig auf dem Umfang des Rades angeordnet sind (Abb. 46). Das Wasser wird durch eine Rohrleitung einer oder mehreren Düsen zugeführt. Die Wasserstrahlen treten aus den Düsen mit großer Geschwindigkeit aus, die sich nach der bereits genannten Gleich-

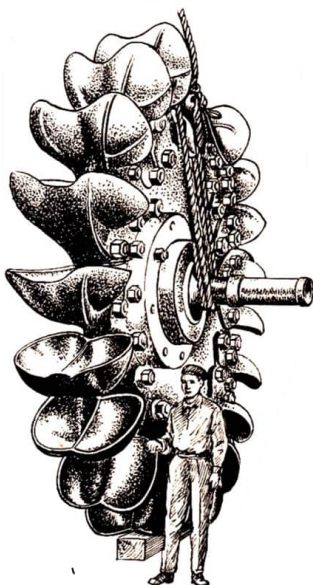


Abb. 46. Laufrad einer Freistrahlturbine

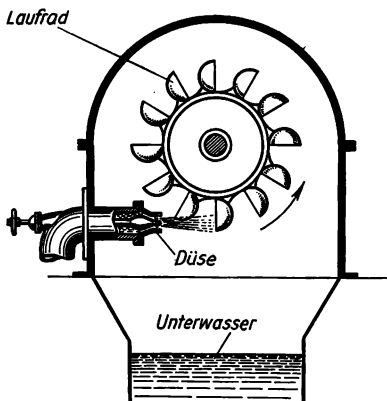


Abb. 47. Wirkungsweise der Freistrahlturbine

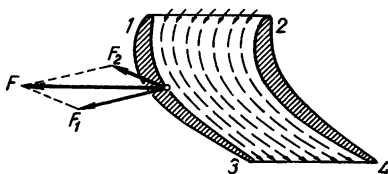


Abb. 48. Schaufelkanal einer Francisturbine

chung $v = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}$ berechnen läßt. Das Wasser beaufschlagt die becherförmigen Schaufeln des Laufrads. Hierbei ändert der Wasserstrahl seine Bewegungsrichtung, wobei seine Geschwindigkeit relativ zu den Becherwänden konstant bleibt. Ergibt fast seine gesamte kinetische Energie an die Turbine ab (Abb. 47).

In Überdruckturbinen wird die Strömungsenergie anders auf die Laufräder übertragen. Die Abbildung 48 zeigt die Kräfte, die an den Schaufeln einer Francisturbine angreifen. Der Einfachheit halber sind hier nur zwei Schaufeln dargestellt, die sich auf dem Laufrad der Francisturbine befinden. Diese benachbarten Schaufeln bilden einen Kanal, in den das Wasser aus dem Leitrad der Turbine als kontinuierliche Strömung eintritt (die Bewegungsrichtung des Wassers ist durch Pfeile gekennzeichnet).

Die Schaufeln sind auf dem Rad so angebracht, daß sich der Querschnitt des Kanals nach der Austrittsstelle zu verengt. Eine solche Kanalförmigkeit bewirkt, daß die Geschwindigkeit des Wassers beim Durchfluß kontinuierlich anwächst. Die Wasserstromstärke bleibt dabei nach der Kontinuitätsgleichung unveränderlich. Zum Vergleich weisen wir darauf hin, daß die Strömungsgeschwindigkeit eines Flusses an engen Stellen bedeutend größer ist als an breiten Stellen des Flußbettes.

Beim Durchströmen eines Schaufelkanals wird das Wasser beschleunigt. Dabei ändern sich nicht nur der Betrag, sondern auch die Richtung der Geschwindigkeit kontinuierlich. Wir müssen also eine Kraft annehmen, die den Betrag der Geschwindigkeit ändert und deren Gegenkraft F_2 auf die Schaufel 1–3 einwirkt. Andererseits bewirkt die Schaufelform eine

Richtungsänderung der Bewegung, und auch in diesem Falle muß nach dem 3. Newtonschen Gesetz die Gegenkraft F_1 an der Schaufel 1—3 angreifen. Addieren wir die Kräfte F_1 und F_2 nach dem Kräfteparallelogramm, so erhalten wir die Resultierende F , die das Laufrad der Turbine in Drehung versetzt.

Die Kraft F , die an jeder Schaufel angreift, ist direkt proportional der Stromstärke und der Geschwindigkeit des Wassers.

Wenn wir die Leistung P einer Wasserturbine berechnen wollen, gehen wir von folgender Überlegung aus:

Die indizierte Leistung

$$P_i = \frac{G \cdot \Delta h}{t} = \gamma \cdot \frac{V}{t} \cdot \Delta h \quad (\text{in kpm} \cdot \text{s}^{-1}).$$

Da beim Wasser $\gamma = 1000 \text{ kp} \cdot \text{m}^{-3}$ beträgt, erhalten wir

$$P_i = 1000 \cdot \frac{V}{t} \cdot \Delta h \quad (\text{in kpm} \cdot \text{s}^{-1})$$

oder

$$P_i = \frac{1000}{75} \cdot \frac{V}{t} \cdot \Delta h \approx 13 \cdot \frac{V}{t} \cdot \Delta h \quad (\text{in PS})$$

oder

$$P_i = \frac{1000}{102} \cdot \frac{V}{t} \cdot \Delta h = 9,81 \cdot \frac{V}{t} \cdot \Delta h \quad (\text{in kW}).$$

Die effektive Leistung berechnet sich dann zu

$$P_e = 9,81 \cdot \eta \cdot \frac{V}{t} \cdot \Delta h \quad (\text{in kW}),$$

wenn η der Wirkungsgrad der Turbine ist.

Sehr leistungsfähige Wasserturbinen erreichen gegenwärtig einen Wirkungsgrad von 0,93 bis 0,94.

Als Anwendungsaufgabe wollen wir die Leistung einer Turbine im Wasserkraftwerk von Zimljanskaja am Don berechnen. Hier steht ein Gefälle von 24 m und eine Wasserstromstärke von $190 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ je Turbine zur Verfügung. Der Wirkungsgrad einer Turbine beträgt 0,92. Damit erhalten wir mit der zuletzt genannten Gleichung als effektive Leistung einer Turbine

$$\begin{aligned} P_e &= 9,81 \cdot 0,92 \cdot 190 \cdot 24, \\ &\approx 41000 \quad (\text{in kW}). \end{aligned}$$

Der Energievorrat der Flüsse ist gewaltig und wird ständig von der Natur aufs neue ergänzt. Die Sowjetunion besitzt davon einen erheblichen Anteil. Allein an 1500 großen und kleinen Flüssen könnten Wasserkraftwerke mit einer Gesamtleistung von 300 Millionen kW errichtet werden.

Eine solche Leistung würden 142 Wasserkraftwerke vom Typ des Kuibyschewer oder 600 vom Typ des Dneprowsker liefern.

Die ausnutzbaren Hydroenergiequellen der UdSSR verfügen über ein Jahresarbeitsvermögen von 1700 Milliarden kWh. In Europa (ohne UdSSR) könnten 514 Milliarden kWh, in den USA 431 Milliarden kWh und in Kanada 325 Milliarden kWh genutzt werden. Diese Zahlen veranschaulichen die gewaltige Perspektive der sowjetischen Hydroenergiewirtschaft.

Im Wasserkraftwerk von Kuibyschew sind die zur Zeit größten Überdruckturbinen der Welt aufgestellt. Jede von ihnen vermag eine Leistung von 126 MW zu entwickeln. Eine dieser Turbinen ist damit doppelt so leistungsfähig wie das Wasserkraftwerk von Wolchow. Der Durchmesser des Laufrads einer dort aufgestellten Kaplanturbine beträgt 9,30 m. Am Laufrad sind 6 verstellbare Schaufeln mit einem Gewicht von 20 Mp angeordnet. Die Drehzahl beträgt $68,3 \text{ min}^{-1}$. Der Läuferdurchmesser des Generators mißt 14,30 m, die Höhe 2,50 m. Die Gesamthöhe der Wasserturbine mit dem Generator beläuft sich auf mehr als 30 m.

Die Turbinen für die gewaltigen Wasserkraftwerke bei Bratsk und Krasnojarsk werden noch leistungsfähiger sein. Jede Turbine des Wasserkraftwerkes von Bratsk wird eine Leistung von 200 MW aufweisen. Im Wasserkraftwerk von Krasnojarsk werden Turbinen mit einer Leistung von je 250 MW bis 300 MW aufgestellt. Im Laufe des Jahres 1960 werden Wasserturbinen mit einer Gesamtleistung von 2,6 Millionen kW hergestellt, womit die 1,7fache Leistung der 1955 produzierten Turbinen erreicht wird. Zur Vertiefung des Stoffes kann der Film „Wasserkraftwerk“ gezeigt werden.¹

Für die Mechanisierung und die Elektrifizierung der Landwirtschaft werden vielfach *Windräder* herangezogen. Bei diesen wird die kinetische Energie des Windes ausgenutzt. Deshalb sollten wir auch den Aufbau und die Wirkungsweise einer Windkraftanlage im Unterricht behandeln.

In diesem Zusammenhang wollen wir die Leistung P eines Windrades berechnen. Diese ergibt sich aus der kinetischen Energie der Luft, die in einer Sekunde durch die von den Flügeln bestrichenen Fläche A hindurchströmt (Abb. 49). Als Grundgleichung benutzen wir

$$P = \frac{W_{kin}}{t} = \frac{\frac{m}{2} \cdot v^2}{t}$$

Der Durchmesser d der vom Windrad bestrichenen Fläche betrage 10 m, die Windgeschwindigkeit v sei $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ und die Dichte ρ der Luft ist $1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.



Abb. 49. Vom Windrad bestrichene Fläche

¹ Gemeint ist hier der entsprechende deutsche Film.

Lösung:

Die vom Windrad bestrichene Fläche A beträgt

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{3,14 (10 \text{ m})^2}{4} = 78,5 \text{ m}^2.$$

Es ergibt sich dann eine Stromstärke der Luft von

$$\frac{V}{t} = A \cdot v = 78,5 \text{ m}^2 \cdot 8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} = 628 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

und eine Luftmasse je Sekunde von

$$\frac{m}{t} = \rho \frac{V}{t} = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \cdot 628 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} = 816,4 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Damit erhalten wir die Leistung zu

$$P = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{t} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot 816,4 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1})^2, \\ = 26\,124,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$$

oder, da $1 \text{ kp} = 9,81 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ist, bekommen wir

$$P = \frac{26\,124,8}{9,81} \text{ kp} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}, \\ = \frac{26\,124,8}{9,81 \cdot 75} \text{ PS} \approx 35,5 \text{ PS}.$$

Wir sollten auch den Schülern erklären, warum nur bis 42% der Windenergie vom Windrad genutzt werden können.¹

Ferner werden wir darauf eingehen, daß die Windräder keine konstante Leistung abgeben können, da sich die Windgeschwindigkeit ändert. Infolgedessen können Windkraftanlagen nicht in solchen Produktionsprozessen angewendet werden, die eine kontinuierliche Energiezufuhr erfordern, wie zum Beispiel die Schwerindustrie und bestimmte landwirtschaftliche Arbeiten (Pflügen, Aussaat, Einbringen der Ernte, Dreschen). Andererseits findet man sie vielfach in der Landwirtschaft zur Trinkwasserversorgung, zur Bewässerung, zum Mahlen des Getreides, zum Zerkleinern des Mineräldüngers, zum Schneiden des Futters, des Strohes und des Silofutters, zur Reinigung des Getreides und so weiter.

¹ Wie von Prof. G. Ch. Sablinn gezeigt wurde, kann der Radwirkungsgrad nicht größer als 0,687 werden. Die gesamte kinetische Energie kann im Windrad nicht ausgenutzt werden, da sonst die Luft hinter dem Windrad nicht abströmen könnte. Es sind deshalb höchstens 60% nutzbar. Die im Windrad auftretenden Verluste durch Luftreibung und Wirbelbildung werden durch den Radwirkungs- oder Gütegrad erfaßt, der hier mit 0,687 angegeben wird, so daß praktisch höchstens 42% der Windenergie technisch nutzbar sind.

Wenn wir das physikalische Prinzip des Windrads erläutern, wollen wir die Schüler auf die Analogie hinweisen, die zwischen der Tragfläche eines Flugzeugs und dem Flügel eines Windrads besteht. In beiden Fällen erstrebt man eine maximale Querkraft zur Strömungsrichtung und einen minimalen Widerstand. Deshalb gibt man den Flügeln eines Windrads auch die Form eines Tragflächenprofils.

Die aerodynamischen Kräfte, die am Flügel eines Windrads angreifen, haben denselben Ursprung wie die Kräfte, die an der Tragfläche eines Flugzeugs wirksam sind. Die Luftströmung bewegt sich auch beim Flügel eines Windrads schneller entlang der stärker gewölbten Oberfläche. Wie die Schüler bereits wissen, ergibt sich daraus infolge des Druckunterschieds die Luftkraft R , die in Richtung der stärker gewölbten Oberfläche weist.

Diese Luftkraft greift unter einem bestimmten Winkel zur Windrichtung am Flügel an. Sie wird wie jede Kraft nicht nur durch ihre Größe, sondern auch durch ihre Richtung charakterisiert und ist damit eine vektorielle Größe. Wir können sie entsprechend dem Kräfteparallelogramm in zwei Komponenten zerlegen. Die eine legen wir in Windrichtung fest, die andere senkrecht dazu. Während die erstere als Widerstand W einen Druck auf die Welle des Windrads ausübt, tritt die zweite als Querkraft F in Erscheinung.

Diese Querkraft ruft die Drehung des Windrads hervor. Anhand der Abbildung 50 ist ohne weiteres zu erkennen, daß die jeweilige Lage eines Flügels die Richtung der Querkraft bestimmt. Sie weist in der Zeichnung für den Flügel a nach oben, für den Flügel b senkrecht in die Zeichenebene hinein und für den Flügel c senkrecht aus der Zeichenebene heraus. Hierdurch ergeben sich Drehmomente, die alle Flügel in der gleichen Drehrichtung bewegen. In unserem Falle rotiert das Windrad entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn, wenn wir es in Windrichtung betrachten.

Die Drehbewegung des Windrads kann über Zahnradgetriebe einen Generator, landwirtschaftliche Maschinen oder eine Pumpanlage antreiben. Die Abbildung 51 zeigt eine typische Windkraftanlage.

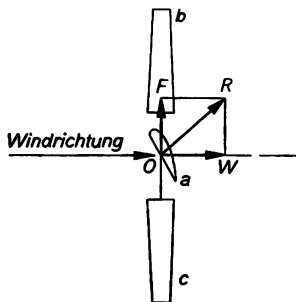


Abb. 50. Kräfteverteilung am Flügel eines Windrads

3. Die technische Ausnutzung der plastischen Eigenschaften der Metalle

Im Rahmen des Stoffabschnitts „Eigenschaften fester Körper“ werden die elastischen und die plastischen Eigenschaften der Körper behandelt. Zwanglos können wir dabei auf technologische Prozesse, wie Walzen, Stanzen,

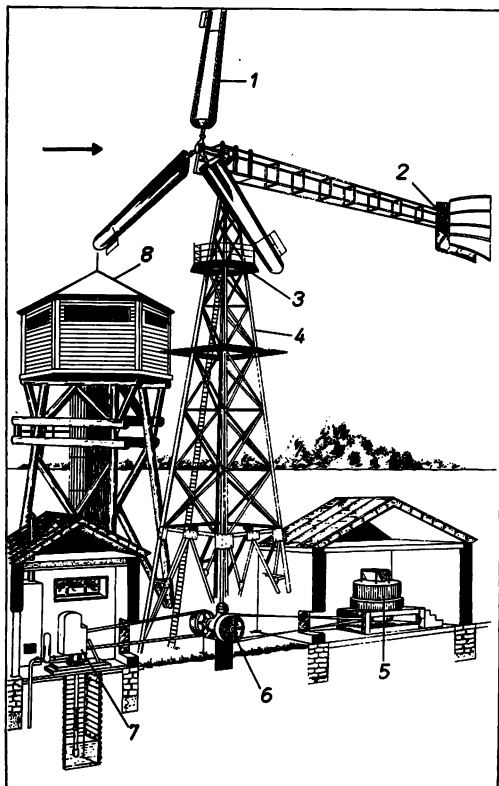


Abb. 51
Windkraftanlage
D-12

- 1 Windrad
- 2 Windfahne
- 3 Plattform
- 4 Turm
- 5 Mahlvorrichtung
- 6 Getriebe
- 7 Pumpanlage
- 8 Wasserturm

Ziehen oder Schmieden, eingehen, bei denen festen Körpern eine bestimmte Form gegeben wird.

1. Walzen. Aus glühenden Metallblöcken lassen sich Stangen oder Bleche bestimmter Dicke herstellen, wenn diese durch eine Reihe rotierender Walzen geführt werden (Abb. 52). Dieser Prozeß der Metallumformung wird Walzen genannt. Er erfolgt auf speziellen Walzstraßen. Das Metall wird zwischen

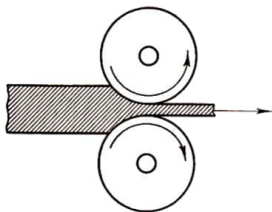


Abb. 52. Schematische Darstellung des Walzens

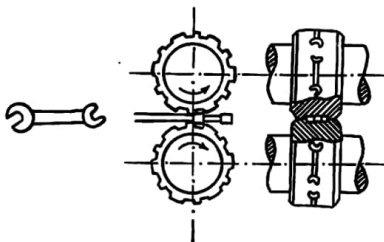


Abb. 53. Vorfertigung eines Schraubenschlüssels durch Walzen

den Walzen allseitig verformt, wodurch die Blöcke in der Länge gedehnt und im Querschnitt verkleinert werden. Die Temperatur des Stahls beträgt beim Walzen etwa 1100°C . Bei einer entsprechenden Form der Walzen lassen sich aus dem glühenden Metall Eisenbahnschienen, Doppel-T-Träger, Bleche oder Drähte herstellen.

Gegenwärtig werden neue Walzverfahren ausgearbeitet. So werden Walzen verwendet, die auf der Oberfläche Vertiefungen bestimmter Formen aufweisen, die den zu produzierenden Erzeugnissen entsprechen (Abb. 53). Damit lassen sich beispielsweise Schraubenschlüssel, Kugeln, Bohrer und andere Werkstücke vorfertigen.¹

Das Walzen der Stahlblöcke erfolgt in den Blockwalzwerken. Diese großen Walzwerke bearbeiten Blöcke im glühenden Zustand (1100°C bis 1200°C), die ein Gewicht von 1 Mp und mehr aufweisen. Die Stahlblöcke können dabei eine Anfangsdicke bis zu 1,35 m besitzen. Alle Arbeitsprozesse der Blockwalzwerke sind mechanisiert und automatisiert. In der UdSSR wurde während der Jahre der ersten Fünfjahrpläne mit dem Bau von Blockwalzwerken in Makejewsk, Nowo-Kusnezsk und in anderen metallurgischen Kombinatn begonnen. Entsprechend den Direktiven des XX. Parteitags der KPdSU wird sich die Produktion der Walzwerkerzeugnisse im Jahr 1960 auf 52,7 Millionen t belaufen, was gegenüber 1955 einen Zuwachs von 52% bedeutet.

2. Stanzen². Zur Bearbeitung von Blechen dient das Stanzen. Hierbei erfolgt eine Formveränderung der Bleche oder ein Ausschneiden der Werkstücke.

Im ersten Falle wird das Blech, beispielsweise Aluminium oder Kupfer, zwischen den Ober- und den Unterstempel einer Biegestanze gelegt (Abb. 54). Durch äußere Kräfte wird der Oberstempel (1) auf den Unterstempel (3) ge-

¹ Dieses Verfahren wird auch als Vorschmieden unter Walzen bezeichnet.

² Der Begriff „Stanzen“ wird unterschiedlich abgegrenzt. In diesem Falle wird darunter in erster Linie das Ausschneiden und Biegen verstanden. Die Abbildung 55 bringt eine Darstellung, die das Stanzen mit dem Tiefziehen verknüpft.

drückt. Das zwischen beiden befindliche Stück Blech (2) nimmt infolge der bleibenden Deformation die gewünschte Form an. Auf diese Weise lassen sich Werkstücke aus Stahl, Kupfer, Bronze, Aluminium, Zink, Pappe und anderen Stoffen stanzen. So kann man beispielsweise Zahnräder für Uhren, Einzelteile der Kraftwagen und der Flugzeuge, Gegenstände des häuslichen Bedarfs (Schlüssel, Löffel, Türklinken) und andere durch Stanzen herstellen.

Bei der Erwärmung der Metalle wird deren Elastizität herabgesetzt, und sie können bereits mit kleineren Drücken plastisch verformt werden. In vielen Fällen erfolgt deshalb das Stanzen im glühenden Zustand des Metalls (Warmstanzen). Es wird angewendet bei der Herstellung von Hochdruckkesseln, Schiffsrümpfen, Rädern für Eisenbahnwaggon und so weiter.

Gegenwärtig wird beim Warmstanzen eine Genauigkeit bis zu 0,2 mm und beim Kaltstanzen eine Genauigkeit bis zu 0,1 mm erreicht. Viele Prozesse beim Stanzen sind automatisiert.

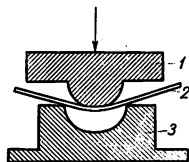


Abb. 54. Schematische Darstellung des Stanzens

3. Ziehen von Drähten. Drahtsorten verschiedener Durchmesser werden durch Ziehen hergestellt, wobei der Draht eine Reihe Ziehdufen passiert, deren Querschnitte abnehmen.

Die Ziehdufen befinden sich in den sogenannten Ziehseisen; dies sind Platten aus sehr hartem Stahl (Abb. 55). Der Draht wird dabei in der Ziehdufe plastisch verformt. Zum Ziehen sehr dünner Drähte werden durchbohrte Diamanten benutzt.

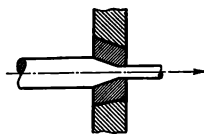


Abb. 55. Prinzip des Drahtziehens

Nach der Behandlung der plastischen und der elastischen Eigenschaften der Metalle können die Schüler folgende Übungen auch zu Hause durchführen:

1. Ein Stück Stahldraht wird gebogen. Es ist festzustellen, ob er seine alte Form wieder annimmt, wenn die verformenden Kräfte nicht mehr wirken.
2. Der Draht ist im Herdfeuer oder in der Gasflamme auszuglühen und nach dem langsamen Erkalten an der Luft zu biegen (Ausglühen). Nimmt er wieder seine alte Form an?
3. Der Draht ist aufs neue glühend zu machen und im glühenden Zustand in Wasser zu tauchen (Härten). Was geschieht mit dem Draht, wenn jetzt versucht wird, ihn zu einem rechten Winkel zu biegen?
4. Wie ändern sich die Eigenschaften des Stahldrahts beim Ausglühen und beim Härten?

Anmerkung: Aus Sicherheitsgründen muß der glühende Draht möglichst mit Flachzangen angefaßt werden.

In der Abbildung 56 sind einige Verfahren des Umformens der Metalle dargestellt.

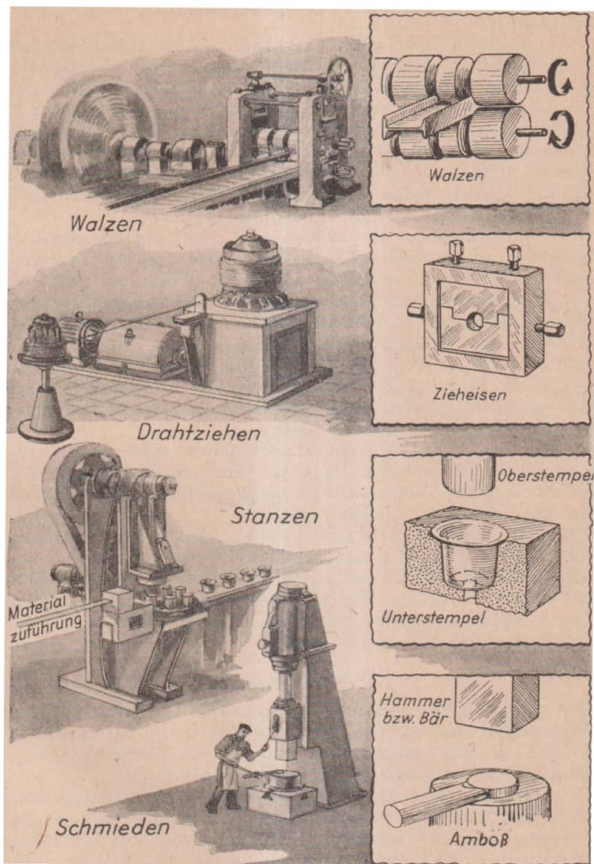


Abb. 56. Umformen der Metalle

4. Die Wärmekraftmaschinen

Die Wärmekraftmaschinen werden in der 7. und in der 9. Klasse behandelt. Während in der 7. Klasse hauptsächlich der Aufbau und die Arbeitsweise der Kolbendampfmaschine, der Dampfturbine und des Verbrennungsmotors dargestellt werden, sollen in der 9. Klasse die physikalischen Vorgänge untersucht werden, die bei der Umwandlung der Wärmeenergie in kinetische Energie stattfinden. Ferner sind die Hauptteile der Wärmekraftmaschinen ausführlicher zu behandeln und ihre Hilfseinrichtungen zu beschreiben. Außerdem wollen wir in dieser Klasse die konstruktiven Verbesserungen zur Erhöhung des Wirkungsgrads begründen.

In der 9. Klasse stellen wir zunächst noch einmal die Hauptteile einer Wärmekraftmaschine heraus, die bei einer Dampfmaschinenanlage der Dampfkessel, die Dampfmaschine und der Kondensator sind. Dabei gehen wir auf die physikalischen Vorgänge ein, die sich zwischen Kessel und Kondensator abspielen. Anschließend wird erörtert, wie sich bei einer Wärmekraftmaschine der Wirkungsgrad erhöhen läßt, wobei den Schülern klar sein muß, daß dieser nie größer als Eins sein kann. Eine Erhöhung des Wirkungsgrads kann bei Dampfmaschinen durch hohe Dampfparameter¹ und bei Verbrennungsmotoren durch starke Kompressionen des Kraftstoff-Luft-Gemisches im Zylinder erzielt werden.

Zur Veranschaulichung der Wärmekraftmaschinen zeigen wir den Schülern Modelle, Filme, Filmschleifen, Diapositive und Anschauungstafeln. Vielfach arbeiten wir mit Tabellen. Als Besichtigungsobjekte sind Wärmekraftanlagen und Verbrennungsmotoren geeignet.

Bei diesem Stoffgebiet ist darauf hinzuweisen, daß in der Sowjetunion die Produktion der Wärmekraftmaschinen stark gesteigert wird, und die Leistungen der Kraftmaschinen durch verbesserte Konstruktionen vergrößert werden. Es ist dabei hervorzuheben, welche Bedeutung die modernen Wärmekraftmaschinen in der Industrie, in der Landwirtschaft sowie im Transport- und Verkehrswesen besitzen.

a) Dampfkessel

Wir erreichen ein tiefergehendes Verständnis der Wärmekraftmaschinen, wenn wir ausführlicher auf die Dampferzeugung in den Kesseln eingehen. Derartige Kenntnisse können wir am besten bei der Vorbereitung von Exkursionen und während ihrer Durchführung vermitteln.

Jede Kolbendampfmaschine oder Dampfturbine besitzt einen Dampfkessel, in dem Dampf von bestimmter Temperatur und von bestimmtem Druck erzeugt wird. Der Aufbau der Dampfkessel wird vom Verwendungszweck bestimmt. Weit verbreitet sind zwei Gruppen: die Heizrohr- und die Wasserrohrkessel. Bei den ersteren durchströmen die heißen Gase ein Röhrensystem, das vom Wasser umspült wird. Solche Kessel werden bei-

¹ Hier und im folgenden werden unter dem Dampfparameter die zusammengehörigen Werte der Dampftemperatur und des Dampfdrucks verstanden.

spielsweise in Lokomotiven und in Lokomobilen verwendet. Bei den Wasserrohrkesseln zirkuliert das Wasser in Röhren, die durch die heißen Verbrennungsgase von außen erwärmt werden. Diese Kessel sind in Wärmekraftwerken zu finden.

Die Abbildung 57 zeigt ein vereinfachtes Schema eines Steilrohrkessels. Er besitzt zwei Rohrbündel *A* und *B*, die die Obertrommel *I* mit der Untertrommel *II* verbinden (zur Vereinfachung sind in der Abbildung die Rohrbündel *A* und *B* jeweils durch ein Rohr ersetzt worden). Anhand dieser Darstellung läßt sich die Arbeitsweise dieses Wasserrohrkessels leicht erläutern.

Während das Rohrbündel *B* in den heißen Verbrennungsgasen im Feuerraum unmittelbar erwärmt wird, liegt das Rohrbündel *A* außerhalb desselben. Da die Rohrbündel durch die Trommeln verbunden werden, haben wir ein System kommunizierender Röhren.

In den Siederöhren *B* wandelt sich das Wasser teilweise in Dampf um, wodurch hier ein Wasser-Dampf-Gemisch entsteht. Die Wichte dieses Gemisches ist kleiner als die Wichte des Wassers, das sich in den Fallrohren *A* befindet, die schwächer beheizt werden. Diese Differenz der Wichten bewirkt, daß der hydrostatische Druck in den Rohrsystemen *A* und *B* verschieden groß ist. Hierdurch steigt das Wasser-Dampf-Gemisch der Rohre *B* in die Obertrommel *I*, während das Wasser in den Fallrohren *A* nach unten strömt und über die Untertrommel *II* wiederum zu den Siederöhren gelangt. Auf diese Weise entsteht im Kessel ein natürlicher Wasserumlauf. Dabei kann das Wasser mehrmals zirkulieren, ehe es schließlich ganz verdampft. Der gesättigte Dampf verläßt die Obertrommel *I* durch das Rohr *D* und gelangt in den Dampfüberhitzer. Durch das Speiserohr *C* läuft frisches Wasser vom Speisewasservorwärmer (Economiser) in den Kessel.

Bei den leistungsfähigen Dampfkesseln in Wärmekraftwerken weisen die Trommeln eindrucksvolle Ausmaße auf. Der Durchmesser kann mehr als 1,50 m und die Länge mehr als 11 m betragen.

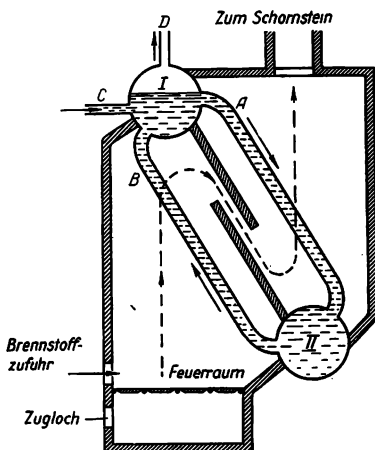


Abb. 57. Vereinfachtes Schema eines Steilrohrkessels mit natürlichem Wasserumlauf

In der UdSSR werden Dampfkessel mit einer Dampfleistung bis zu $230 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ serienmäßig hergestellt. Für Höchstleistungsdampfturbinen von 200 MW bis 300 MW werden Dampfkessel mit wesentlich größerer Dampfleistung gebaut.

Um einen Begriff von den Ausmaßen einer modernen Kesselanlage zu vermitteln, können wir den Schülern mitteilen, daß die Gesamthöhe eines modernen Hochleistungskessels 30 m bis 35 m, die Höhe des Feuerraums etwa 20 m und sein Querschnitt $10 \text{ m} \cdot 8 \text{ m}$ beträgt.

Eine Weiterentwicklung des Steilrohrkessels führte zum Strahlungskessel. Bei diesem können die Untertrommeln fehlen und die unteren Rohrenden durch einen Sammler — ein starkes Rohr — vereinigt werden. Die Verringerung der Trommelzahl vereinfacht den Aufbau der Kesselanlage. Im Jahre 1937 begannen die großen Kesselschmieden der Sowjetunion mit der Serienfertigung von Strahlungskesseln.

Die Abbildung 58 zeigt das Schema eines modernen Strahlungskessels mit senkrechten Wasserrohren, der in Wärmekraftwerken weit verbreitet ist.

Der von Kugelmöhlen (siehe Seite 52) zerkleinerte Brennstoff wird durch die Brenner staubförmig in den Feuerraum geblasen und verbrennt hier bei einer Temperatur von 1500°C bis 2000°C . Die Siederohre des Kessels sind senkrecht an den Wänden des Feuerraums angeordnet. Sie nehmen neben der Berührungswärme die von den Flammen und den heißen Verbrennungsgasen ausgestrahlte Wärme auf. In diesen Siederohren findet die Dampferzeugung statt. Sie schützen gleichzeitig als Abschirmungsrohre die Schamotteziegel vor dem Sintern. Der Sammler — ein horizontales, dickwandiges Rohr mit großem Durchmesser — verbindet unten die Abschirmungsrohre mit den außerhalb des Feuerraums liegenden Fallrohren.

Durch diese Fallrohre gelangt das Wasser aus der Trommel in den Sammler und steigt dann

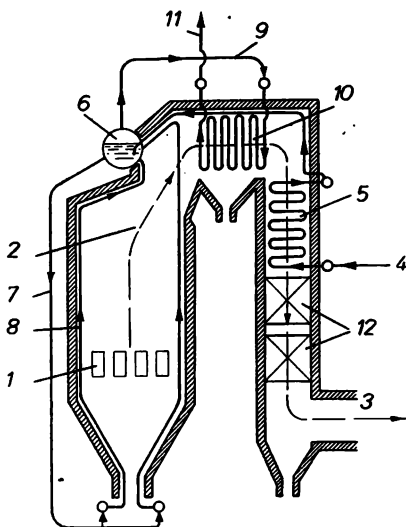


Abb 58. Schematische Darstellung eines Strahlungskessels

- 1 Brenner, 2 Feuerraum, 3 Austritt der Verbrennungsgase.
4 Zuführung des Speisewassers, 5 Wasservorwärmer,
6 Trommel, 7 Fallrohre, 8 Abschirmungs-(Siede-)rohre,
9 Dampfleistungsrohre, 10 Dampfüberhitzer,
11 Austritt des überhitzten Dampfes, 12 Luftvorwärmer

in den Abschirmungsrohren auf, wobei es teilweise verdampft. Der Dampf sammelt sich im Sattdampfsammler und wird von hier in den Dampfüberhitzer geführt, während das Wasser aus der Trommel wieder in den Sammler zurückläuft.

Im Überhitzer wird der Dampf von den abziehenden Verbrennungsgasen auf eine Temperatur von 500°C bis 550°C gebracht. Dabei kühlen sich die Verbrennungsgase von etwa 1000°C auf ungefähr 600°C ab. Nun umspülen sie die Rohre des Wasservorwärmers und erwärmen das Wasser fast bis zum Sieden. Schließlich geben sie im Luftvorwärmer noch Wärme ab, bevor diese Verbrennungsgase mit einer Temperatur von 180°C bis 140°C durch den Schornstein entweichen. Die im Luftvorwärmer erhitze Luft mit einer Temperatur von 250°C bis 450°C gelangt in den Feuerraum, während das im Ekonomiser vorgewärmte Wasser in die Trommel des Kessels fließt.

In der Sowjetunion wurde von Prof. L. K. Ramsin ein Hochdruck-Gleichstrom-Kessel entwickelt, der nach folgendem Prinzip arbeitet: Eine Speisepumpe *A* drückt das Wasser in den Wasservorwärmer *B* (Abb. 59). Von hier gelangt das Wasser in die von den heißen Gasen des Feuerraums erwärmten Siederohre *C*, in denen es zu sieden beginnt. Beim Austritt aus den Rohren *C* besteht das Wasser-Dampf-Gemisch aus 80% Dampf und 20% Wasser. Dieses Gemisch wird in die Übergangszone *D* außerhalb des Feuerraums geleitet. Hier findet die Verdampfung des restlichen Wassers und die Salzabscheidung statt. Anschließend durchströmt der Dampf den Dampfüberhitzer *E*. Auf diese Weise tritt ständig am Anfang des Rohrsystems Wasser ein, während aus dem Ende überhitzter Dampf ausströmt. Bei diesem Zwangsdurchlaufkessel wird die Wasserbewegung künstlich durch Pumpen bewirkt.

Dieser Hochdruck-Gleichstrom-Kessel hat keine Trommeln und keine Rohrsysteme, in denen der Energieträger als absteigende Strömung abermals in Siederohre gelangt. Aus diesem Grund sind solche Kessel in ihrer Konstruktion noch einfacher und billiger als Kessel mit natürlichem Wasserumlauf. Das Gewicht eines Hochdruck-Gleichstrom-Kessels ist etwa halb so groß wie das Gewicht eines Steilrohrkessels gleicher Leistung. Außerdem können bei einem Hochdruck-Gleichstrom-Kessel Drücke von mehr als 200 at erreicht werden, während man bei einem Steilrohrkessel nur bis 180 at gehen kann. Eine Erhöhung des Drucks ist aber mit einer Zunahme der Dampftemperatur verbunden. Das wirkt sich wiederum auf den Wirkungsgrad aus; denn je höher die Beträge der Dampfparameter liegen, desto höher ist auch der

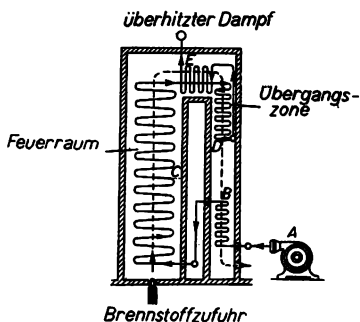


Abb. 59. Schematische Darstellung eines Hochdruck-Gleichstrom-Kessels nach Ramsin

Wirkungsgrad der Dampfkraftanlage. Deshalb werden in der Sowjetunion die Wärmekraftanlagen Schritt für Schritt auf hohe Dampfparameter umgestellt, wodurch ein sparsamerer Brennstoffverbrauch erzielt wird.

Ein sowjetisches Werk baut den Hochdruck-Gleichstrom-Kessel PK-12, der bei einem Druck von 215 at und einer Temperatur von 575°C eine Dampfleistung von $300 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ aufweist. Die Kesselhöhe beträgt 32 m, der tägliche Kohlenverbrauch liegt bei 1500 t. Gegenwärtig werden Hochdruck-Gleichstrom-Kessel für eine Dampfleistung von $900 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ mit extrem hohen Dampfparametern entwickelt.

Der Brennstoffverbrauch beim Übergang zu hohen Dampfparametern ist für Kessel gleicher Leistung aus der Tabelle 1 ersichtlich.

*Tabelle 1
Dampfparameter und Brennstoffverbrauch bei Dampfkesseln*

Dampfparameter		Brennstoffverbrauch
Druck at	Temperatur °C	%
30	400	100
90	480 bis 500	88 bis 85
170 bis 225	550 bis 600	76 bis 70

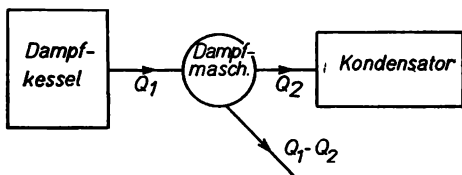
b) Kolbendampfmaschine

Die Kolbendampfmaschine ist heute noch weit verbreitet, insbesondere als Antriebsmittel für den Wasser- und Eisenbahntransport, da sie einige Vorzüge besitzt. Diese bestehen in der Einfachheit ihres Aufbaus und ihrer Bedienung, in ihrer langen Lebensdauer und in der Möglichkeit hoher Überlastbarkeit. Sie kann unter Belastung anlaufen, ist umsteuerbar, und für die Dampferzeugung können beliebige — selbst minderwertige — Brennstoffe verwendet werden.

Es ist an dieser Stelle nicht erforderlich, den schematischen Aufbau und die Wirkungsweise der Dampfmaschine zu entwickeln. Wir wollen nur auf wesentliche Gesichtspunkte hinweisen, die bei der Behandlung in der 7. Klasse zu beachten sind. Dazu gehören:

1. Die Umwandlung der geradlinigen Bewegung des Kolbens in die Drehbewegung des Schwungrads. In Verbindung damit ist der Kurbeltrieb zu behandeln, der aus Kolbenstange, Kreuzkopf, Pleuelstange und Kurbel besteht.
2. Die Kolbenschiebersteuerung. Das richtige Zusammenwirken der Bewegung der Doppelkolben im Schieberzylinder und des Kolbens im Dampfzylinder.

Abb. 60
Die drei Hauptteile
einer Dampfmaschinen-
anlage



In der 9. Klasse ist dieser Stoff zu wiederholen. Ferner ist auf die Expansionsmaschine einzugehen und zu begründen, warum die Dampfungabe unterbrochen wird, bevor der Kolben den gesamten Kolbenweg zurückgelegt hat. Wir erklären, daß der Druck des expandierenden Dampfes im Zylinder abnimmt. Dabei ist erstrebenswert, daß er sich auf den im Kondensator herrschenden Dampfdruck verringert, damit seine Energie möglichst vollständig ausgenutzt wird.

Den Schülern ist klarzumachen, warum jede Dampfmaschinenanlage aus drei Hauptteilen: Dampfkessel, Dampfmaschine und Kondensator (Abb. 60) besteht. Dabei kann der Kondensator die umgebende Luft sein, wenn der entspannte Dampf in die Atmosphäre entweicht, oder eine Kondensationsanlage, wenn der aus dem Zylinder austretende Dampf durch Kühlwasser kondensiert wird. Infolge der Kondensation des Dampfes ist der Druck im Kondensator bedeutend kleiner als der Atmosphärendruck.

Die Dampfmaschine erhält vom Kessel die Wärmemenge Q_1 und gibt an den Kondensator die Wärmemenge Q_2 ab. Die Differenz dieser Wärmemengen ($Q_1 - Q_2$; wobei $Q_1 > Q_2$) wird in mechanische Energie umgewandelt. Für den idealen Wirkungsgrad gilt

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} < 1.$$

Bei dieser Gelegenheit wollen wir auch den Schülern sagen, daß als Energieträger nicht nur Wasserdampf, sondern auch Quecksilber oder ein anderer Stoff verwendet werden kann. (Im Verbrennungsmotor oder in der Gasturbine dienen Gase als Energieträger.) Die Maschinen selbst sind nur die Anlagen, in denen die Energieumwandlung erfolgt. Aus der angeführten Gleichung folgt, daß eine um so größere Arbeit verrichtet wird, je größer die Differenz von Q_1 und Q_2 ist, das heißt, je mehr Wärme vom Dampfkessel abgegeben und je weniger auf den Kondensator übertragen wird.

Zur Bestimmung des Wirkungsgrads einer idealen Maschine verwenden wir eine für die Berechnung geeignetere Beziehung, deren Ableitung in der Schule nicht erforderlich ist, und zwar

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

An dieser Stelle empfehlen wir drei Berechnungen, die veranschaulichen, daß die Erhöhung des Wirkungsgrads einer idealen Maschine sowohl durch die Erhöhung der Dampftemperatur im Kessel als auch durch die Erniedrigung der Temperatur im Kondensator erfolgen kann. Beispielsweise kann man den Wirkungsgrad einer Dampfmaschine berechnen, wenn die Dampftemperatur im Kessel 180°C und die Kondensatortemperatur 80°C beträgt. Analoge Rechnungen können für die Temperaturen 200°C und 80°C beziehungsweise 180°C und 60°C durchgeführt werden.¹ Die Berechnungen ergeben als Wirkungsgrade 0,22; 0,25 und 0,26. Dadurch wird offenkundig, daß es zur Erhöhung des Wirkungsgrades einer Maschine nützlicher ist, die Kondensatortemperatur zu senken als die Kesseltemperatur zu steigern. Um die Temperatur im Kondensator wesentlich zu verringern, sind jedoch eine Reihe technischer Schwierigkeiten zu überwinden. Aus diesem Grunde erfolgt gegenwärtig die Umstellung der Maschine auf höhere Dampfparameter.

In der Abbildung 61 ist der Wirkungsgrad einer idealen Wärmekraftmaschine in Abhängigkeit von der Ausgangstemperatur grafisch dargestellt. In der Praxis ist der Wirkungsgrad kleiner, da ein Teil der Energie durch Reibung in der Maschine, sowie durch Wärme- und Dampfverluste nach außen verlorengeht.

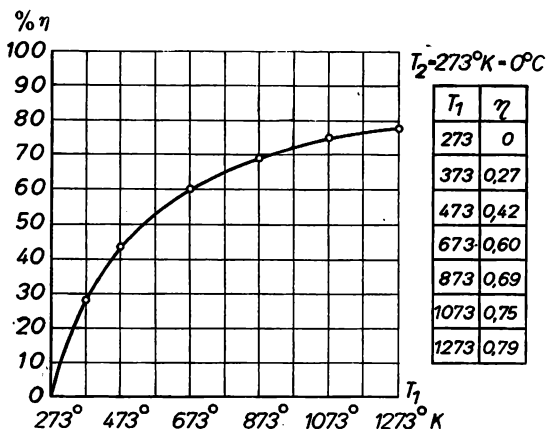


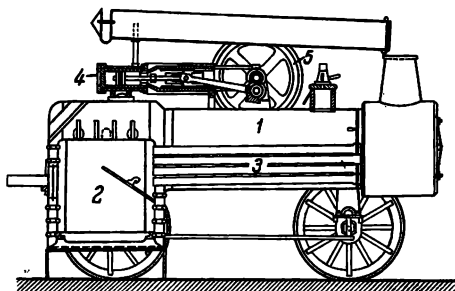
Abb. 61. Der Wirkungsgrad einer idealen Wärmekraftmaschine in Abhängigkeit von der Ausgangstemperatur

¹ In die Gleichung müssen selbstverständlich die absoluten Temperaturen eingesetzt werden.

Abb. 62
In der Landwirtschaft verwendete
Lokomobile

- 1 Kessel
- 2 Feuerung
- 3 Rauchrohre
- 4 Dampfmaschine
- 5 Schwungrad

Der Schornstein der
Lokomobile ist in
Transportstellung



Ein wesentlicher Mangel der Kolbendampfmaschinen besteht darin, daß sie einen verhältnismäßig kleinen Wirkungsgrad aufweisen. Er beträgt selbst bei leistungsfähigen Maschinen nur 0,18. Die periodische Bewegung des Kolbens und des massiven Pleuelstangen-Mechanismus erlaubt es nicht, hohe Drehzahlen und große Leistungen in einem Aggregat zu erhalten. Die Leistung der größten Dampfmaschine beträgt 20000 PS. Darüber hinaus eignen sich Dampfmaschinen schlecht zum Arbeiten mit hohen Dampfparametern. Insbesondere wird die Schmierung des Kolbens angegriffen, da das Öl eine verhältnismäßig niedrige Zersetzungstemperatur aufweist und seine Qualität einbüßt, wenn der Frischdampf mit einer hohen Temperatur in den Zylinder eintritt.

Aus diesen Gründen finden wir Kolbendampfmaschinen nur noch bei Lokomotiven, Lokomobilen (Abb. 62), Schiffen, kleinen Wärmekraftwerken und in einigen Betrieben.

Wegen des geringen Wirkungsgrads wird die Dampfmaschine bei Fahrzeugen (Lokomotiven, Dampfschiffen) allmählich von den Dieselmotoren verdrängt. So beträgt zum Beispiel der Gesamtwirkungsgrad einer Lokomotive nur 0,06 bis 0,08. Deshalb wird in der Sowjetunion die Produktion großer Dampflokomotiven eingestellt. Sie werden durch Diesellokomotiven ersetzt.

e) Dampfturbine

Die moderne Energiewirtschaft stützt sich hauptsächlich auf die Dampfturbine. Deshalb sollen bis Ende 1960 mehr als 80% der erzeugten Elektroenergie von Turbogeneratoren geliefert werden.

Bei der Behandlung der Dampfturbinen im 9. Schuljahr erklären wir den Aufbau der modernen mehrstufigen Turbinen. Wir gehen auf die Energieumwandlung in der Turbine ein und zeigen den Schülern, wie der Wirkungsgrad erhöht werden kann. Selbstverständlich werden wir auch technische Daten moderner Dampfturbinen geben.

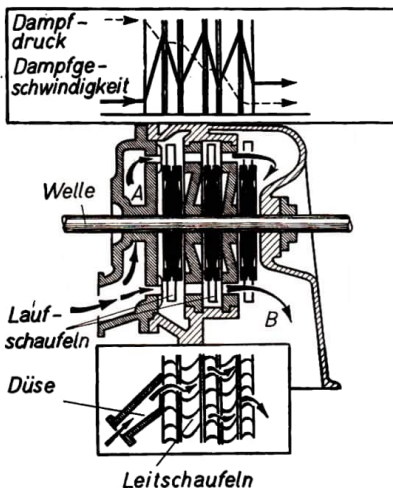


Abb. 63. Schematische Darstellung einer mehrstufigen Gleichdruckturbine. Oben sind Druck- und Geschwindigkeitsverlauf des Dampfes wiedergegeben.

Lauf- und Leitschaufeln bilden zusammen eine Stufe der Dampfturbine (in der Abbildung 63 ist die schematische Darstellung einer dreistufigen Turbine gegeben).

Der Frischdampf tritt unter hohem Druck in die Ringkammer A ein und gelangt durch die auf dem Ringumfang angeordneten Düsen in die Kanäle zwischen den ersten Laufrädern. Hierauf durchströmt der Dampf nacheinander die Düsen der Leiträder und die Kanäle der Laufräder aller folgenden Stufen der Turbine. Der entspannte Dampf entweicht durch die Kammer B in den Kondensator.

Wenn der Dampf die Düsen der ersten Stufe durchströmt, so dehnt er sich aus und vergrößert seine Geschwindigkeit. Ein Teil seiner potentiellen Druckenergie wandelt sich dabei in kinetische Energie um.

Nun strömt der Dampfstrahl in die Kanäle des ersten Laufrads. Die Arbeits-schaufeln sind derart geformt und auf dem Laufrad angeordnet, daß die gekrümmten Kanäle überall den gleichen Querschnitt haben. Dadurch dehnt sich der Dampf bei dieser Bewegung nicht aus; er hat beim Eintritt in die Kanäle und bei seinem Austritt den gleichen Druck. Seine Geschwindigkeit hingegen verringert sich, da ein Teil der kinetischen Energie an das Laufrad gegeben wird.

Die Wirkungsweise einer Gleichdruckturbine kann anhand einer schematischen Darstellung (Abb. 63) erläutert werden. Eine Gleichdruckturbine kann eine Druck- oder eine Geschwindigkeitsstufung aufweisen. Bei der ersteren Ausführung erfolgt die Ausdehnung des Dampfes (das heißt die Druckabnahme) nur in den Düsen und nicht in den Kanälen zwischen den Laufrädern. Diese Turbinen sind am meisten verbreitet.

Auf der Turbinenwelle sind eine Reihe Laufräder befestigt, die auf ihren Radkränzen Schaufeln tragen. Die Laufräder sind durch Leiträder (Zwischenböden) getrennt, in denen die Düsen (Leitkanäle) untergebracht sind.

Ein Leiträder mit seinen Düsen und das ihm folgende

Dann durchströmt der Dampf die Düsen der zweiten Stufe, in der ein weiteres Absinken des Dampfdrucks (das heißt eine Ausdehnung des Dampfes) erfolgt, die Dampfgeschwindigkeit vergrößert wird und sich erneut die potentielle Energie in kinetische umwandelt.

Im zweiten Laufschaufelkranz wird beim Drehen des Turbinenläufers abermals mechanische Arbeit verrichtet. Die Dampfgeschwindigkeit verringert sich aufs neue ohne Druckänderung. Der gleiche Prozeß wiederholt sich in der dritten, vierten und in den weiteren Druckstufen der Turbine.

Mit Vergrößerung der Dampfdruckdifferenz auf beiden Seiten der Düsen vergrößert sich die Austrittsgeschwindigkeit des Dampfes aus diesen Düsen und damit die Kraftwirkung des Dampfes auf die Schaufeln. Deshalb ist es vorteilhaft, den Düsen überhitzten Dampf mit hohen Parametern zuzuführen, der einen großen Betrag an potentieller Energie besitzt.

Im oberen Teil der Abbildung 63 ist der Druck- und Geschwindigkeitsverlauf des Dampfes grafisch dargestellt. Der Druck nimmt in jeder Stufe ab. Er fällt in den Düsen und bleibt im Laufschaufelkranz konstant. Die Geschwindigkeit des Dampfes steigt in den Düsen an und verringert sich in den Laufschaufeln.

Da der Dampf beim Durchströmen der Turbine sein Volumen allmählich vergrößert, nehmen die Dimensionen der Laufradschaufeln und der Düsen zu. Leistungsturbinen haben nicht nur einen, sondern zwei (manchmal auch drei) Druckteile, in denen die Ausdehnung des Dampfes stattfindet (Hoch-, Mittel- und Niederdruckteil). Moderne Turbinen besitzen 7 bis 30 Druckstufen.

Die in der Abbildung 64 gezeigte Kondensationsturbine hat eine Leistung von 100 MW und besitzt einen Hoch- und einen Niederdruckteil. Im Niederdruckteil wird die Dampfströmung halbiert; in ihm sind zehn Stufen untergebracht, so daß je fünf in einem Dampfstrom liegen. Im Hochdruckteil liegen zwölf Druckstufen. Die Anfangsdampfparameter sind 90 at und 500°C, der Enddruck im Kondensator beträgt 0,04 at.

Die Turbine CBK-150 mit einer Leistung von 150 MW weist drei Druckteile auf. Im Hochdruckteil findet in 7 Stufen die Expansion des Dampfes vom Anfangsdruck von 170 at auf 34 at statt. Hierauf wird der Dampf auf eine Temperatur von 520°C überhitzt und in den Mitteldruckteil (12 Stufen) geleitet. Nachdem der Dampf diesen Druckteil durchströmt hat, gelangt er mit einem Druck von 0,7 at in den zweiflutigen Niederdruckteil mit je 3 Stufen. Im Kondensator wird ein Druck von 0,03 at aufrecht erhalten.

Wenn wir die Wirkungsweise einer Turbine behandeln, müssen wir auch erläutern, wie die Drehbewegung der Laufräder zustande kommt. Oftmals nehmen die Schüler an, daß diese Bewegung durch den direkten Stoß des Dampfstrahls auf die Schaufeln hervorgerufen wird. Diese Vorstellung ist nicht ganz richtig; da deshalb ein Druck auf die Schaufeln ausgeübt wird, weil der Dampf in den Schaufelkanälen aus seiner ursprünglichen Richtung abgelenkt wird.

Weiter können wir den Schülern die Vorzüge klarmachen, die die Turbinen im Vergleich zu den Kolbendampfmaschinen aufweisen. Sie lassen sich mit

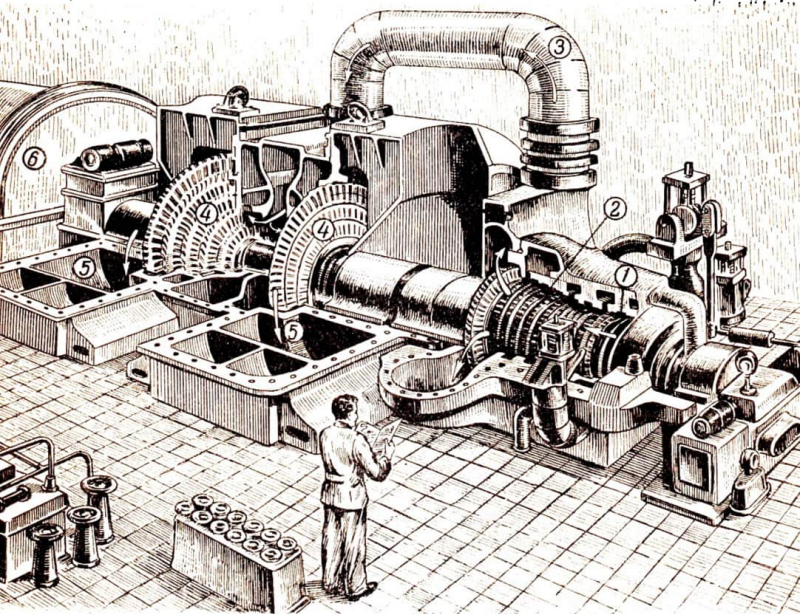


Abb. 64. Moderne Dampfturbine

Der Dampf gelangt in den Hochdruckteil 1 und versetzt den Läufer 2 in Drehung. Von hier strömt der Dampf über das Rohr 3 in den Niederdruckteil 4, wo er noch einen Teil seiner Energie an die Laufschaufeln der Turbine abgibt. Sodann verläßt der Dampf die Turbine über das Rohr 5. Neben der Turbine befindet sich der Turbogenerator 6, dessen Läufer mit der Turbinenwelle gekoppelt ist

größeren Leistungen bauen als Kolbendampfmaschinen. Sie besitzen eine relativ hohe Drehzahl und können so direkt mit schnellaufenden Generatoren, Gebläsen, Verdichtern und so weiter gekoppelt werden. Turbinen gewährleisten eine gleichmäßige Drehung, die zum Arbeiten der genannten Maschinen erforderlich ist. Darüber hinaus sind Turbinen im Vergleich zu Dampfmaschinen kompakter, da bei ihnen der Kurbeltrieb fehlt. Moderne Dampfturbinen werden so berechnet, daß sie über 100 000 Stunden (11,4 Jahre) ununterbrochen arbeiten können.

Im modernen Turbinenbau wird die Leistung der Turbinen ständig durch höhere Dampfparameter gesteigert. Wenn bis 1955 Dampfturbinen mit einer Leistung von 150 MW und mit den Dampfparametern 170 at und 550°C gebaut wurden, so sind wir heute beim Bau und in der Projektierung von

Turbinen mit einer Leistung von 200 MW bis 300 MW angelangt, die Dampfdrücke von 220 at bis 300 at und Temperaturen von 600 °C bis 650 °C aufweisen.

Gegenwärtig und künftig werden in der Sowjetunion Wärmekraftwerke mit einer Leistung von 900 MW bis 1200 MW gebaut. Um eine solche Leistung zu erreichen, ist der Einsatz von Turbinen mit einer Leistung von 50 MW bis 100 MW ökonomisch ungünstig, da hiervon die Aufstellung von einigen Dutzend Turbinen und Generatoren erforderlich wäre. Durch den Einsatz von Hochleistungsturbinen kann die Anzahl der Aggregate verringert werden, und die Turbinenhallen können kleiner sein. Der Preis einer Turbine von 200 MW liegt insgesamt nur etwa 15% bis 20 % höher als der einer Turbine von 100 MW, während die Leistung doppelt so groß ist.

In den letzten Jahren wurde beim Bau der Wärmekraftwerke ein neuer Weg beschritten, indem sogenannte Kessel-Turbinen-Blocks installiert werden. Darüber kann den Schülern bei einer Exkursion in ein Wärmekraftwerk berichtet werden (siehe Seite 189).

Bisher wurden in den Wärmekraftwerken alle Turbinen von einer Dampfleitung gespeist. Sämtliche Dampfkessel im Kraftwerk gaben hierbei ihren Dampf in diese gemeinsame, verzweigte Dampfleitung. Die modernen Hochleistungsturbinen verbrauchen eine gewaltige Dampfmenge. Beispielsweise benötigt eine Turbine von 100 MW mehr als 400 t Dampf in der Stunde. Eine Turbine von 150 MW Leistung erfordert in der Stunde etwa 500 t Dampf, wogegen Turbinen mit Leistungen von 200 MW bis 300 MW etwa 750 t bis 900 t Dampf je Stunde verbrauchen.

Um solche Turbinen mit Dampf zu versorgen, müssen mehrere Dampfkessel arbeiten, da die Dampfleistung der Seriedampfkessel nur $230 \text{ t} \cdot \text{h}^{-1}$ beträgt. In Wärmekraftwerken mit Hochleistungsturbinen müssen deshalb viel mehr Kessel als Turbinen aufgestellt werden.

Während für ein Kraftwerk mit einer verhältnismäßig geringen Leistung (200 MW bis 300 MW) 5 bis 7 Kessel erforderlich sind, benötigen die großen Kraftwerke (600 MW bis 1200 MW) 15 bis 25 Kessel. Dies bedeutet eine wesentliche Vergrößerung der Anlagekosten und eine Verlängerung der Bauzeiten.

Bei den oben genannten Kessel-Turbinen-Blocks wird jede Turbine mit dem Dampf eines Kessels entsprechender Dampfleistung gespeist. Der Aufbau eines Kraftwerks mit solchen Einheiten ist wesentlich einfacher und die Kesselzahl weit geringer. Außerdem können die Dampfleitungen kürzer sein, die bei Dampf mit hohen und höchsten Parametern sehr teure Stahlsorten erfordern.

Der Übergang zur Blockanordnung in den Wärmekraftwerken verlangt nicht nur Kessel mit sehr großer Dampfleistung, sondern auch sicher arbeitende und technisch ausgereifte Konstruktionen der Kesselanlagen, da bei der Blockanordnung die Kesselreserve fehlt und das Ausfallen eines Kessels zum Stillstand der mit ihm verbundenen Turbine führt.

d) Verbrennungsmotor

Der Verbrennungsmotor wird in der 7. und in der 9. Klasse behandelt. In der 7. Klasse genügt es, wenn das Prinzip des Motors erarbeitet wird. In der 9. Klasse wird dieser Stoff wiederholt und vertieft. Die Erweiterung der Kenntnisse erfolgt bei der Behandlung von drei Stoffabschnitten: So erklären wir die Ursache des höheren Wirkungsgrads eines Verbrennungsmotors gegenüber der Kolbendampfmaschine und die Zündkerze in dem Stoffabschnitt „Wärmekraftmaschinen“. Die Übertragung der Drehbewegung vom Motor auf die Antriebsräder eines Kraftwagens stellen wir dar beim Stoffabschnitt „Übertragung der Drehbewegungen“, während der Vergaser und die Wasserkühlung in der „Strömungslehre“ behandelt werden.

1. Die Wirkungsweise und der Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors.
Beim ersten Takt eines Viertakt-Otto-Motors wird aus dem Vergaser ein Kraftstoff-Luft-Gemisch in den Zylinder eingesaugt. Im zweiten Takt wird dieses Gemisch verdichtet, wodurch Druck und Temperatur anwachsen (6 at bis 10 at, 150°C bis 350°C). Wird nun beim dritten Takt, dem Arbeitstakt des Motors, mit Hilfe der Zündkerze dieses Gemisch entzündet, so erhöht sich infolge der Verbrennung die Temperatur auf annähernd 1600°C bis 1800°C. Gleichzeitig steigt auch der Druck auf 25 at bis 50 at. Während des folgenden vierten Taktes findet der Auspuff statt. Hierbei werden die Verbrennungsgase aus dem Zylinder ausgestoßen. Beim Austritt aus dem Zylinder beträgt die Temperatur der Verbrennungsgase 400°C bis 600°C.

Bezeichnen wir die Verbrennungstemperatur des Kraftstoffs wieder mit T_1 und die Temperatur der ausgestoßenen Verbrennungsgase mit T_2 , so erhalten wir für $T_1 = 2073^\circ\text{K}$ und $T_2 = 873^\circ\text{K}$. Es berechnet sich dann der thermische Wirkungsgrad zu

$$\eta = \frac{(2073 - 873) \text{ grad}}{2073 \text{ grad}} = 0,58.$$

In Wirklichkeit ist der Gesamtwirkungsgrad eines Ottomotors bedeutend kleiner als der berechnete Wert; er beträgt annähernd 0,25.

In den Dieselmotoren wird beim ersten Takt reine Luft in den Zylinder eingesaugt, die beim zweiten Takt stark komprimiert wird. Das Verdichtungsverhältnis liegt bei 12 : 1 bis 22 : 1. Dieser Wert ist wesentlich größer als der entsprechende von Vergasermotoren (5,5 : 1 bis 7,5 : 1). Der Verdichtungsdruck erreicht 30 at bis 55 at, die Temperatur erhöht sich auf 500°C bis 700°C. Beim dritten Takt wird flüssiger Kraftstoff in den Zylinder eingespritzt. Der Kraftstoff entzündet sich in der komprimierten, heißen Luft von selbst (ohne Zündkerze) und verbrennt. Die Verbrennungstemperatur erhöht sich bis auf etwa 2000°C, der Verbrennungsdruck liegt zwischen 32 at und 60 at. Die heißen Gase dehnen sich aus und drücken den Kolben zurück. Der Wirkungsgrad des Dieselmotors erreicht einen Wert von 0,4.

In der Tabelle 2 sind die Wärmebilanz eines Diesel- und die eines Ottomotors wiedergegeben.

Tabelle 2
Wärmebilanz des Diesel- und des Ottomotors in Prozent

	Dieselmotor	Ottomotor
Nutzbare Arbeit	32 bis 40	18 bis 25
Verluste durch Wasserkühlung	20 bis 35	15 bis 20
Verluste durch Auspuffgase	25 bis 40	25 bis 50
Übrige Verluste	5 bis 8	8 bis 12

Bei der Behandlung des Verbrennungsmotors ist es nützlich, die schematische Darstellung eines Kraftwagen- (Abb. 65) oder eines Traktormotors zu besprechen und seinen Aufbau sowie seine Wirkungsweise am natürlichen Objekt zu betrachten.

Wir begründen auch den Schülern, warum der Dieselmotor vorherrscht. Dies hängt damit zusammen, daß dieser Motor ökonomischer ist und billigeren Kraftstoff verbraucht, als der Ottomotor (Tabelle 3). Als Kraftstoffe werden für Verbrennungsmotoren Benzin, Kerosin¹, Dieselöl, Treibgase und andere verwendet.

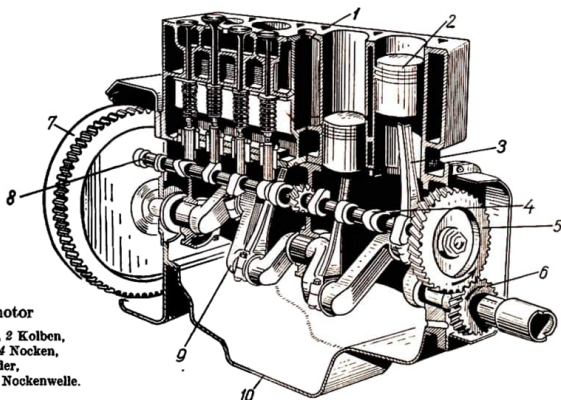


Abb. 65.
Kraftwagenmotor

- 1 Zylinderblock, 2 Pleuelstange,
- 3 Pleuellager, 4 Pleuellagerbolzen,
- 5 und 6 Pleuellagerbolzen,
- 7 Pleuellagerbolzen, 8 Pleuellagerbolzen,
- 9 Pleuellagerbolzen,
- 10 Pleuellagerbolzen

¹ Kerosin ist eine Bezeichnung für Leucht- und Heizpetroleum in den Siedegrenzen 175 °C bis 288 °C.

Seit 1956 werden alle in der Sowjetunion hergestellten Traktoren nur noch mit Dieselmotoren ausgerüstet. Die Ottomotoren der Mähdrescher werden ebenfalls durch Dieselmotoren ersetzt. Die Motoren der Omnibusse und der Lastkraftwagen sind in der Regel Dieselmotoren. Auch bei der Eisenbahn (Diesellokomotiven) und im Binnenwassertransport werden immer mehr die Dieselmotoren eingesetzt.

Tabelle 3
Spezifischer Kraftstoffverbrauch verschiedener Traktortypen

Traktortyp	Kraftstoff	spezifischer Kraftstoffverbrauch $\text{g} \cdot \text{PS}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$
ChTS — 7	Benzin	270
ASChTS-NATI	Kerosin	315
MTS-1	Dieselloil	210
KD-35	..	220
DT-54	..	220
S-80	..	205 bis 220

2. Der Vergaser. Die meisten Personenkraftwagen besitzen einen Vergaser-motor. Im Vergaser wird das Kraftstoff-Luft-Gemisch erzeugt (Abb. 66). Er besteht aus dem Schwimmergehäuse 1 in dem sich Benzin befindet. Im Schwimmergehäuse ist außerdem der Schwimmer 2. Dieser trägt die Schwim-mernadel, die das Zuflußventil 3 betätigt. Der Schwimmer bewegt sich mit Hilfe eines Hebels um die Achse 4. Liegt der Benzinspiegel im Schwimmer-gehäuse zu tief, sinkt der Schwimmer, und die Schwim-mernadel gibt eine Öffnung frei, wodurch Benzin nachströmt.

Bewegt sich der Kol-ben 5 nach unten, so entsteht über ihm ein Unterdruck. Gleich-zeitig wird das Ventil 6 geöffnet. Infolge der Druckabnahme im Zy-linder strömt Luft durch das Rohr 7 und Benzin durch das Einspritz-rohr 8 in den Lufttrich-ter 9. Da er im engen Teil einen kleineren Durchmesser besitzt als das Rohr 7, vergrößert

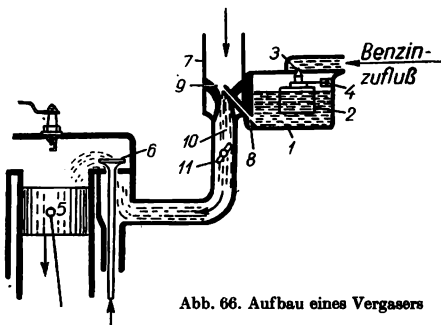
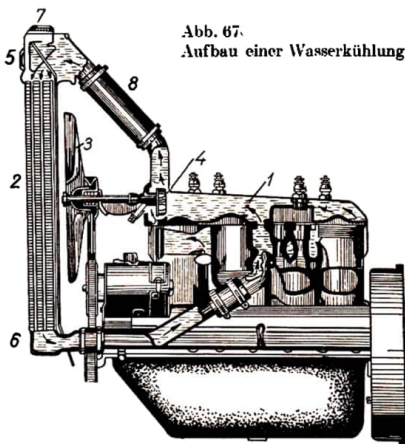


Abb. 66. Aufbau eines Vergasers

sich hier die Strömungsgeschwindigkeit der Luft. Diese reißt Benzin mit und zerstäubt es. In der Mischkammer 10 verdunstet das Benzin teilweise. Bei geöffneter Drosselklappe 11 gelangt das Kraftstoff-Luft-Gemisch in den Zylinder des Motors.

Abb. 67.
Aufbau einer Wasserkühlung



3. Die Wasserkühlung. Beim Betrieb des Motors werden die Zylinder stark erwärmt. Um eine Überhitzung und den damit verbundenen Rückgang der Leistung des Motors zu vermeiden, ist ein Kühlsystem notwendig (Abb. 67). Es besteht bei der Wasserkühlung aus dem Kühlmantel 1, der die Zylinder umgibt, dem Kühler 2, dem Lüfter 3, der Pumpe 4 und dem Rohrsystem.

Der Wasserröhrenkühler besteht aus den beiden Wasserkästen 5 und 6, die durch ein System paralleler Röhren verbunden sind. Durch den Einfüllstutzen 7 wird der Kühler mit Wasser gefüllt.

Wenn das Wasser durch die Zylinder erwärmt wird, steigt es in dem Rohr 8 nach oben und gelangt in den Wasserkasten 5. Danach fällt es durch die Röhren in den Wasserkasten 6. Dabei wird es durch den vom Lüfter verstärkten Luftstrom abgekühlt, der die Röhren umspült. Das Kühlwasser wird von der Pumpe 4 ständig in Umlauf gehalten.

Bei schwächeren Motoren erfolgt die Wasserzirkulation im Kühlsystem ohne Pumpe (Wärmeumlauf- oder Thermosyphonkühlung).

Bei schwächeren Motoren erfolgt die Wasserzirkulation im Kühlsystem ohne Pumpe (Wärmeumlauf- oder Thermosyphonkühlung).

4. Die Zündkerze besteht aus dem metallischen Kerzengehäuse 1 und der Mittelelektrode 2 mit der Anschlußmutter 3. Die Mittelelektrode ist gegen das Kerzengehäuse durch Porzellan oder andere Isolatoren 4 gut isoliert (Abb. 68). Das Metallgehäuse der Kerze hat ein Gewinde, das in die entsprechende Öffnung des Zylinders eingeschraubt werden kann. Am Gehäuse sind unten eine oder mehrere Masseelektroden 5 angebracht. Der Abstand zwischen Mittel- und Masselektroden beträgt 0,6 mm bis 0,8 mm.

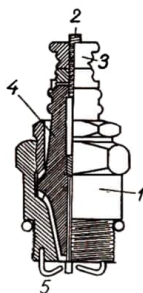


Abb. 68. Aufbau einer Zündkerze

Der Motor besitzt eine Zündspule, die ihrem Aufbau nach an einen Transformator erinnert und deren Wirkungsweise die Schüler im Physikunterricht der 7. Klasse kennenlernen. Die Sekundärwicklung ist mit den Elektroden der Kerze verbunden. Zum gegebenen Zeitpunkt liegt an ihnen eine Spannung bis zu 15 kV. Bei einer derartigen hohen Spannung springt zwischen den Elektroden ein Funke über, der das Kraftstoff-Luft-Gemisch entzündet.

e) Die Gasturbine

In den letzten Jahren wurde eine weitere Wärmekraftmaschine, die Gasturbine, so weit entwickelt, daß sie vielseitig eingesetzt werden kann. Besonders in Form der Strahltriebwerke, auf die wir zunächst eingehen wollen, wird sie heute in der Luftfahrt immer mehr verwendet.

Die Strahltriebwerke arbeiten nach folgendem Prinzip: Ein Gasstrahl tritt aus der Schubdüse mit einer Geschwindigkeit aus, die größer ist als die Eintrittsgeschwindigkeit in das Triebwerk. Die hierdurch entstehende Reaktionskraft wirkt entgegengesetzt zur Bewegungsrichtung des Strahls und treibt das Flugzeug an.

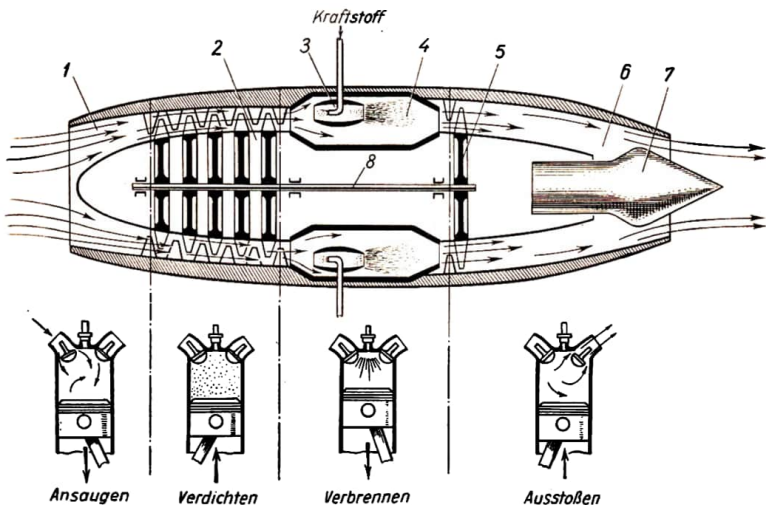


Abb. 69. Strahltriebwerk

1 Diffusor, 2 Axialverdichter, 3 Zerstäuber, 4 Brennkammer, 5 Laufrad der Turbine, 6 Schubdüse, 7 Düsenkegel, 8 Welle

Die Strahltrieb turbine (Abb. 69) besteht aus fünf Hauptteilen: Einlaufkanal (Diffusor), Verdichter, Brennkammer, Gasturbine und Schubdüse. Während des Fluges gelangt Luft in den Diffusor des Triebwerks. Hier wird sie abgebremst, so daß sich ihre Geschwindigkeit relativ zum Flugzeug verringert, während der Druck ansteigt. Im Verdichter erfolgt eine weitere Verdichtung der Luft, wobei der Druck den 8- bis 10fachen Wert erreicht. Die komprimierte Luft gelangt in die Brennkammern, in die auch der Kraftstoff (gewöhnlich Kerosin) eingespritzt wird. Das entstehende Kraftstoff-Luft-Gemisch wird beim Anlassen des Triebwerks von einer Zündkerze entzündet und brennt dann in der Brennzone selbständig weiter. Da die Brennkammern auf beiden Seiten offen sind, erfolgt die Verbrennung bei konstantem Druck. Dieser Druck ist gleich dem Luftdruck hinter dem Verdichter. Die Temperatur der Kerosinflamme beträgt mehr als 2000 °C. Diese Temperatur ist für die Schaufeln der Gasturbine unzulässig hoch. Aus diesem Grund wird der Hauptteil der komprimierten Luft um die Brennzone herumgeführt und nur annähernd der fünfte Teil für die Verbrennung herangezogen. Noch in der Brennkammer werden jetzt die heißen Verbrennungsgase mit dem überwiegenden Teil der verdichteten Luft gemischt. Dadurch sinkt die Temperatur des Verbrennungsgas-Luft-Gemisches auf 800 °C bis 900 °C. Es trifft mit großer Geschwindigkeit ($500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ bis $900 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) auf die Schaufeln der Gasturbine, wo es sich ausdehnt und das Laufrad in Drehung versetzt. Das Laufrad sitzt mit dem Verdichter auf der gleichen Welle, so daß dieser vom Turbinenlaufrad angetrieben wird. Ein Teil der potentiellen Energie des heißen, komprimierten Gases wandelt sich in der Gasturbine in kinetische Energie der Rotation um. Der andere Teil der potentiellen Energie führt zur Geschwindigkeitszunahme des Gases in der Schubdüse des Triebwerks. Während das Gas die Düse durchströmt, vergrößert sich seine Geschwindigkeit auf ungefähr $450 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ bis $500 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Hierbei nimmt der Druck auf etwa Atmosphärendruck ab. Die zur Fortbewegung des Flugzeugs erforderliche Reaktionskraft entsteht beim Austritt des Verbrennungsgas-Luft-Gemisches aus der Schubdüse.

Der Schub einer Strahltrieb turbine ergibt sich aus dem Überschuß der Ausdehnungsarbeit des heißen Verbrennungsgas-Luft-Gemisches gegenüber der zur Verdichtung der kalten Luft erforderlichen Arbeit.

In der Schubdüse der Strahltrieb turbine befindet sich ein verschiebbarer Düsenkegel, durch den der Austrittsquerschnitt der Düse und somit die Fluggeschwindigkeit reguliert werden kann. Bei einer zusammenfassenden Betrachtung sollen die Schüler erkennen, daß Dampf- und Wasserturbinen (siehe Seite 73) Strömungsmaschinen sind, die alle nach dem gleichen physikalischen Prinzip arbeiten. Sehr nützlich ist auch ein Vergleich der Strahltrieb turbine mit dem Viertakt-Ottomotor, weil sich dabei zeigt, daß die Takte einer Strahltrieb turbine räumlich und die eines Verbrennungsmotors zeitlich getrennt ablaufen (Abb. 69). Wir können deshalb auch von einer kontinuierlichen Arbeitsweise der Strahltrieb turbine im Gegensatz zur diskontinuierlichen Arbeitsweise des Verbrennungsmotors sprechen.

Der von einer modernen leistungsfähigen Strahltriebwerke entwickelte Schub ist sehr groß. Beispielsweise beträgt der Schub bei einer Strahltriebwerke mit einem Luftverbrauch von $200 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ annähernd 12000 kp. Beim Flug mit einer Geschwindigkeit von $1100 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ erreicht die Nutzleistung einen Wert von

$$\begin{aligned} P &= F \cdot v, \\ &= 12000 \text{ kp} \cdot 306 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}, \\ &= 3672000 \text{ kpm} \cdot \text{s}^{-1}, \\ &\approx 50000 \text{ PS}. \end{aligned}$$

Strahltriebwerke (Abb. 70) werden auch in der zivilen Luftfahrt eingesetzt. Das erste in der UdSSR vom Akademiemitglied A. N. Tupolew entwickelte Verkehrs-Düsenflugzeug TU-104 konnte bereits 50 bis 70 Passagiere befördern. Zwei starke Triebwerke verleihen der Maschine eine Geschwindigkeit von mehr als $800 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Dieser bewährten Maschine folgte die TU-110, die bis 100 Personen aufnimmt.

Die Gasturbine eroberte sich nicht nur das Flugwesen, sondern wird auch bei der Eisenbahn und als stationäre Kraftanlage in der Industrie angewendet.

In der Abbildung 71 ist das p-v-Diagramm einer Gasturbine dargestellt (die Verluste wurden vernachlässigt). Der Punkt E entspricht dem Zustand der in den Verdichter eintretenden atmosphärischen Luft. Vom Punkt E bis zum Punkt C findet die Kompression der Luft im Verdichter statt. Die Gerade CD charakterisiert die Verbrennung des Kraftstoffs bei konstantem Druck, wobei die Tempe-

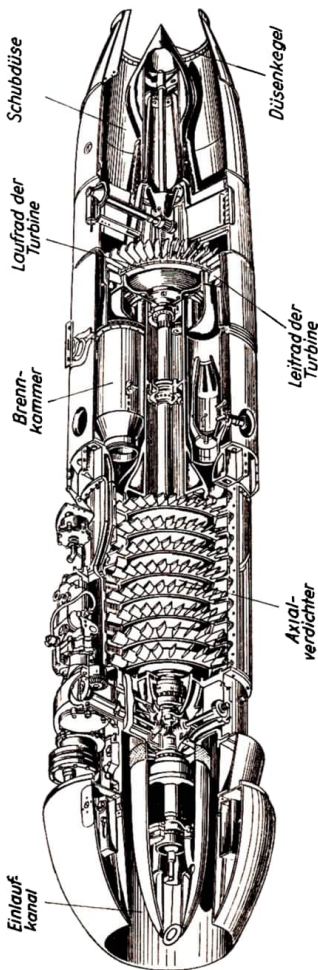


Abb. 70. Strahltriebwerke

ratur des Gases ansteigt. Der Punkt *D* bezeichnet den Zustand der Verbrennungsgase des Kraftstoffs. Die Ausdehnung des Gases in der Turbine und in der Schubdüse (wobei die Arbeit zum Antrieb des Verdichters und zum Antrieb des Flugzeugs verrichtet wird) geschieht auf der Kurve *DF*.

Der Wirkungsgrad einer stationären Gasturbine beträgt 0,16 bis 0,18. Man kann diesen Wirkungsgrad auf 0,22 bis 0,25 erhöhen, wenn man die heißen Abgase zum Vorwärmen der Luft heranzieht. Dazu wird die Luft aus dem Verdichter zunächst durch den Luftvorwärmer geleitet, wo sie sich unter Abkühlung der Verbrennungsgase auf 350 °C bis 375 °C erwärmt. Dann erst tritt die komprimierte Luft in die Brennkammern ein.

Bei Gasturbinenlokomotiven treibt die Turbine einen Generator an, der den Strom für die elektrischen Fahrmotoren liefert. In der Industrie werden Gasturbinen bei geringem Energiebedarf oder als Reserve-Kraftmaschinen eingesetzt. In der metallurgischen Industrie dienen sie zum Antrieb von Verdichtern.

Die Gasturbinen haben folgende Vorzüge:

- a) kleine Abmessungen,
- b) geringes Leistungsgewicht,
- c) einfache Betriebsweise,
- d) verhältnismäßig kurze Anlaufzeit (5 min bis 10 min; bei Strahlturbinen 1,5 min bis 2 min),
- e) auch Verwendung minderwertiger Treibstoffe möglich (Masut, Treibgas) und
- f) hohe Drehzahlen (ähnlich Dampfturbine).

Außerdem brauchen Gasturbinen keine Kondensatoren, Wasservorwärmer, Gebläse, Einrichtungen zur Wasseraufbereitung und die vielen anderen Hilfseinrichtungen, die zum Betrieb von Dampfkraftanlagen erforderlich sind. Gegenwärtig laufen Versuche zur Verwendung staubförmiger Brennstoffe.

Der künftige Einsatz der Gasturbinen für stationäre Anlagen und Fahrzeuge wird von der Entwicklung hochhitzebeständiger Werkstoffe abhängen, damit der Wirkungsgrad verbessert werden kann. Dies ist notwendig, weil sich bei hohen Temperaturen die Qualität der Werkstoffe für die Antriebs Elemente der Turbinen (Düsen, Leit- und Laufräder mit Schaufeln) stark verringert. Bei Strahlturbinen, die die kurze Lebensdauer von 200 bis 500 Stunden aufweisen, darf bei den gegenwärtig zur Verfügung stehenden Werkstoffen die maximale Temperatur der Gase vor den Turbinenschaufeln 800 °C bis 900 °C betragen.

Bei stationären Anlagen muß die Lebensdauer der Turbinen auf 10000 bis 20000 Stunden veranschlagt werden. Die zulässige Gastemperatur liegt hier deshalb unter 600 °C bis 700 °C. Aus diesem Grunde haben die stationären Gasturbinen gegenüber den Strahlturbinen in der Luftfahrt einen geringeren Wirkungsgrad.

Die Herstellung neuer hochhitzebeständiger Werkstoffe, die eine Erhöhung der Gastemperatur vor den Turbinenschaufeln zulassen, und geeignete Verfahren zur Verbrennung staubförmiger Brennstoffe eröffnen große Perspektiven für die Anwendung

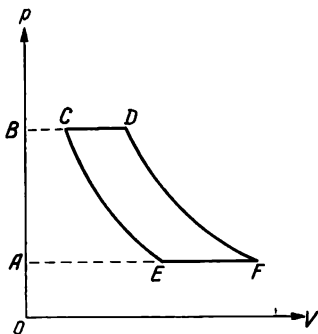


Abb. 71
Arbeitsdiagramm einer Gasturbine

der Gasturbinen in vielen Zweigen der Volkswirtschaft. In den Direktiven des XX. Parteitages der KPdSU war bereits vorgesehen, daß eine Reihe Elektrizitätswerke mit Gasturbinen eingerichtet werden. Wenn diese Werke auch in erster Linie für Versuchszwecke dienen, so liefern sie doch bereits Strom. Weiter soll die Serienfertigung von stationären und transportablen Gasturbinenanlagen und von fahrbaren Aggregaten zur Stromerzeugung mit Gasturbinen erfolgen. Darüber hinaus werden Versuchsmuster von Gasturbinenloks erprobt.

Abschließend wollen wir noch einmal die Wirkungsgrade verschiedener Wärmekraftmaschinen vergleichen: Kolbendampfmaschine 0,16, Hochdruckdampfturbine bis 0,30, Ottomotor bis 0,25, Dieselmotor bis 0,40, Strahl-turbine 0,20 bis 0,25. Wir wollen auch nicht vergessen, daß uns die Wärmebilanzen der Wärmekraftmaschinen und deren Brennstoffverbrauch ein reiches Zahlenmaterial für grafische Darstellungen und für Anwendungsaufgaben bieten.

f) Anwendung der Verbrennungsmotoren in der Volkswirtschaft

In der Landwirtschaft werden gegenwärtig vorwiegend Dieselmotoren eingesetzt. Mitte des Jahres 1955 betrug die Anzahl der Traktoren mit Dieselantrieb 1400000¹. Während des fünften Fünfjahrplanes lieferten die Traktorenwerke der Landwirtschaft insgesamt 824000 Traktoren (Abb. 72). Von 1955 bis 1960 werden die Sowhosen und Kolchosen 1650000 Traktoren erhalten. Ständig wächst die Anzahl der landwirtschaftlichen Maschinen, die von Verbrennungsmotoren angetrieben werden.

In den Jahren 1951 bis 1955 wurden der Landwirtschaft 410000 Lastkraftwagen und 217000 Mähdrescher übergeben. 1960 werden in der Sowjetunion 650000 Kraftwagen, 140000 Mähdrescher und 395000 Motorräder hergestellt werden.

Seine Hauptanwendung findet der Verbrennungsmotor im Transportwesen. Bei der Eisenbahn ist die Diesellokomotive weit verbreitet. Die wichtigsten Vorzüge der Dieselloks gegenüber den Dampfloks bestehen im höheren Wirkungsgrad (0,26 bis 0,28 gegenüber 0,06 bis 0,07), in der Möglichkeit, größere Strecken ohne Wasser- und Brennstoffaufnahme zurückzulegen (1000 km im Vergleich zu 150 km bis 200 km) sowie in der Erhöhung der Transportleistung um das 1,5- bis 2fache.

Die Diesellokomotive besitzt einen leistungsfähigen Dieselmotor, der einen Gleichstromgenerator antreibt (Abb. 73). Der Generator versorgt die Fahrmotoren, die die elektrische Energie in mechanische umwandeln und durch Zahnradtriebe die Räder in Bewegung setzen, mit Strom. Eine solche Zahnradübersetzung besteht aus einem kleinen Treibrad, das sich am Ende der Welle des Elektromotors befindet, und aus einem großen Zahnrad, das auf der Achse eines Radpaares der Diesellok angebracht ist. Die Zahnradüber-

¹ Diese und die folgenden Zahlenangaben über Traktoren sind umgerechnet auf Traktoren von je 15 PS Leistung.

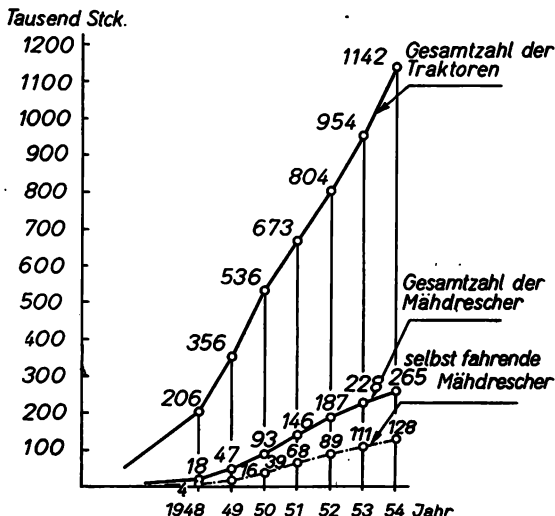


Abb. 72. Grafische Darstellung des Einsatzes von Traktoren und Mähdreschern in der Landwirtschaft (in tausend Stück)¹

setzung verringert die Drehzahl der Räder der Diesellok im Vergleich zur Drehzahl der Welle des Elektromotors. Hierdurch vergrößert sich gleichzeitig die am Umfang der Räder angreifende Zugkraft.

Während bei der Eisenbahn neben der Diesellok noch gleichberechtigt die Elektrolok steht, behauptet der Dieselmotor in der Binnenschifffahrt bei den Schiffsneubauten fast allein das Feld.

5. Die Fernheizung

In der Energiewirtschaft der UdSSR spielt die Fernheizung eine bedeutende Rolle. Sie entwickelt sich parallel mit der Elektrifizierung.

Die kombinierte Versorgung mit elektrischer Energie und Wärme erfolgt durch Heizkraftwerke. Dies sind moderne Wärmekraftwerke mittlerer und

¹ S. A. Iofinow u. a., Mechanisierung und Elektrifizierung der Landwirtschaft, Selchosgiz, Moskau-Leningrad, 1956, Seite 9.

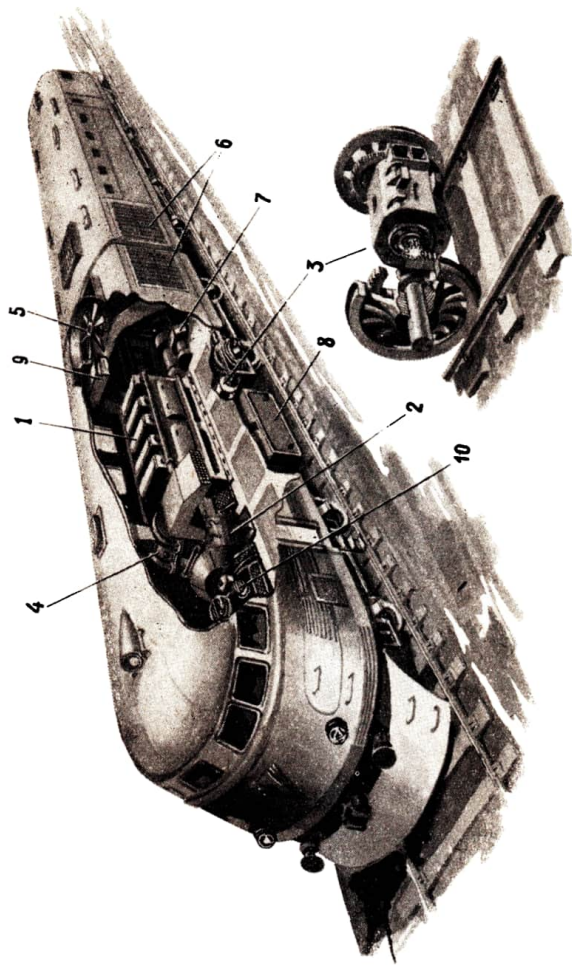


Abb. 73. Schematische Darstellung einer Diesellokomotive

1 Dieselmotor, 2 Hauptgenerator, 3 Antriebsselektromotor, 4 Turbogehäuse, das die Luft in die Zylinder des Dieselmotors drückt, 5 Lüfter des Kühlaggregats (das Kühlaggregat dient zur Abkühlung des Wassers und des Öls, die sich beim Arbeiten des Motors erwärmen), 6 Seitenhaube des Kühlaggregats, 7 Lüfter zur Abkühlung der Antriebsselektromotoren, 8 Kraftstoffbehälter, 9 Wasserbehälter, 10 Verdrichter der Druckluftbremse. Rechts unten: Übertragung der Drehbewegung von der Welle des Elektromotors zum Radpaar

großer Leistung, die die Verbraucher — Industrie, kommunale Betriebe, Wohngebäude — mit Elektrizität, Dampf und Warmwasser versorgen. Ungefähr 30% der Leistung der Heizkraftwerke geht in die Fernheizaggregate.

Bei der kombinierten Versorgung mit Elektro- und Wärmeenergie wird die chemische Energie der Brennstoffe zu 60% bis 70% ausgenutzt. Dadurch sinkt der spezifische Brennstoffverbrauch der Heizkraftwerke auf $170 \text{ g} \cdot \text{kWh}^{-1}$ gegenüber $460 \text{ g} \cdot \text{kWh}^{-1}$ bei Wärmekraftwerken, die nur Elektroenergie liefern. Die Versorgung der Industrie und der kommunalen Wirtschaft mit Dampf und Warmwasser ist schon deshalb wichtig, weil etwa die Hälfte der in der Sowjetunion geförderten Brennstoffe für den Wärmebedarf der Industrie verbraucht wird.

Deshalb leitet man den Abdampf der Dampfturbinen nicht in die Kondensatoren, wo er durch Kühlwasser kondensiert wird, sondern verwendet ihn für produktive Zwecke. Er treibt Dampfhämmer und wird bei verschiedenen technologischen Prozessen in der chemischen Industrie, in der Nahrungsmittelindustrie sowie in anderen Betrieben herangezogen. Der Abdampf dient zum Vorwärmen des Wassers für kommunale Betriebe (Dampfbäder, Wäschereien) und für häusliche Zwecke (Heizung, Versorgung mit Warmwasser). Dadurch wird der Brennstoffverbrauch der Industrie und der kommunalen Wirtschaft wesentlich herabgesetzt. Demzufolge verringern sich auch die Transportkosten für die Anfuhr der Brennstoffe zum Verbrauchsort. Außerdem werden durch Heizkraftwerke die Lebens- und Wohnbedingungen der Bevölkerung erheblich verbessert.

Damit die Schüler verstehen können, warum im Heizkraftwerk die chemische Energie der Brennstoffe mit einem 2- bis 2,5fach höheren Wirkungsgrad ausgenutzt werden kann als in einem üblichen Wärmekraftwerk, empfehlen wir folgendes Rechenbeispiel: Bei vollständiger Belastung eines Wärmekraftwerkes mit einer Leistung von 200 MW bis 300 MW gelangen 1000 t bis 1500 t Dampf je Stunde in den Kondensator. Die Verdampfungs- (Kondensations-)wärme l beträgt bei 30°C und 0,04 at im Idealfall $581 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$.¹

Im Kondensator wird folglich bei der Kondensation der Dampfmenge von 1000 t je Stunde eine Wärmemenge von

$$Q = l \cdot m,$$

$$Q = 581 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot 1\,000\,000 \text{ kg} = 581\,000\,000 \text{ kcal}$$

abgegeben.

Um eine derartige Wärmemenge abzuführen, muß durch den Kondensator des üblichen Wärmekraftwerks der oben genannten Leistung je Stunde eine Kühlwassermenge von

¹ Die je Kilogramm Dampf im Kondensator abgegebene Kondensationswärme ist in der Praxis etwas kleiner. Sie beträgt etwa $520 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$, da der Abdampf niemals völlig trocken ist. Ein gewisser Teil des Dampfes (bis 12%) tritt bereits kondensiert in den Kondensator ein.

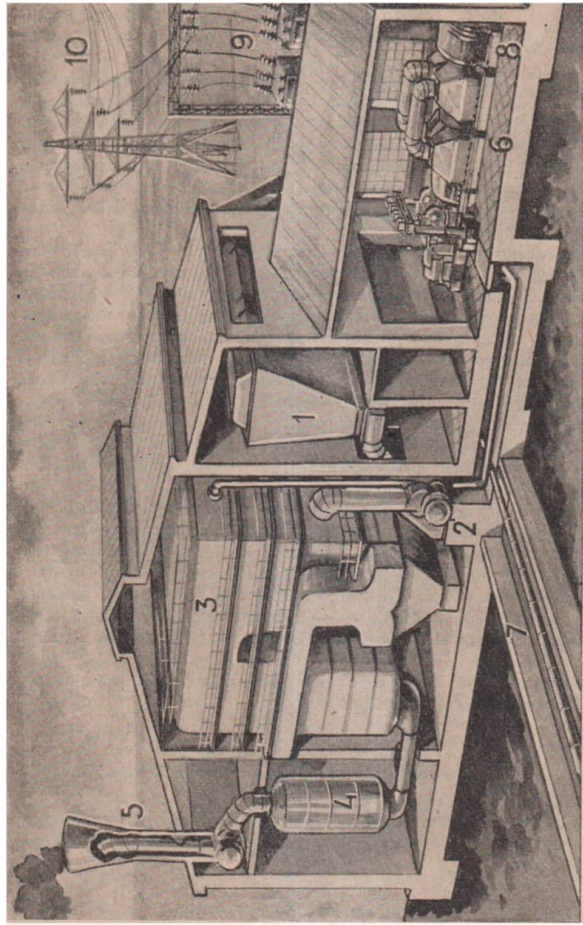


Abb. 74. Heizkraftwerk

Der Brennstoff wird in den Bunker 1 gebracht. Hierauf passiert er die Kugelmühle 2 und gelangt zur Kesselfeuerung 3. Die Rauchgase werden im Filter 4 gereinigt und gehen durch den Schornstein 5. Der Dampf des Kessels tritt in die Turbine 6 ein. Der Abdampf gelangt über das Rohr 7 zur Fernheizung. Die Turbine treibt den Generator 3 an. Der erzeugte elektrische Strom geht über den Transformator 9 in das Hochspannungsnetz 10.

$$m' = \frac{Q}{c \cdot \Delta t},$$

$$m' = \frac{581\,000\,000 \text{ kcal}}{1 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{grd}^{-1} \cdot 10 \text{ grd}} = 58\,100\,000 \text{ kg} = 58\,100 \text{ t}$$

mit einer Anfangstemperatur von 20° C hindurchströmen.

Infolge der Fernheizung werden in der UdSSR pro Jahr einige Millionen Tonnen Brennstoffe eingespart. So wurden im Jahre 1953 auf Grund der Fernheizung 6 Millionen Tonnen Brennstoffe eingespart. 1954 wurden durch die Fernheizung 7 Millionen Tonnen Brennstoffe weniger verbraucht, als der Plan vorsah.¹ Im gleichen Jahre verfügten 162 Städte über Fernheizungsanlagen. Allein von 1950 bis 1955 wurden in 23 Kreisen Fernheizwerke zur Versorgung der Städte und der Betriebe aufgebaut.

Obgleich erst gegenwärtig Heizkraftwerke (Abb. 74) in größerem Umfang gebaut werden, wurde bereits 1924 die erste Fernheizanlage in der Sowjetunion gebaut. In den Direktiven des XX. Parteitags der KPdSU wird gesagt: „Es ist der weitere Ausbau der Fernheizung in den Industriebetrieben und den Großstädten sicherzustellen. Die Rückständigkeit im Aufbau des Fernheizungsnetzes ist zu beseitigen“².

Wenn wir diese Hinweise über die Fernheizung gegeben haben, können wir ein vereinfachtes Schema behandeln, das die Ausnutzung des Abdampfes veranschaulicht (Abb. 75).

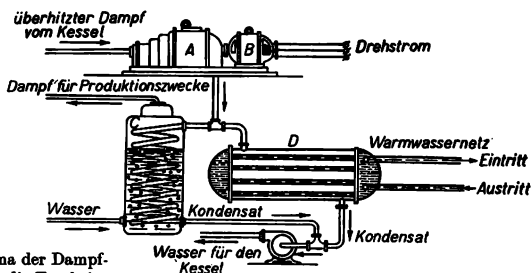


Abb. 75. Schema der Dampfausnutzung für die Fernheizung

Der überhitzte Dampf des Kessels tritt in die Dampfturbine A ein, die den Generator B antreibt. Der Generator liefert die elektrische Energie. Von der Turbine gelangt der Primärdampf teils in den Wärmeaustauscher C zur Erzeugung des Sekundärdampfes und teils in den Wärmeaustauscher D

¹ J. J. Sokolow, Entwicklung der Fernheizung in der UdSSR, Verlag „Wissenschaft“, Moskau 1955.

² Direktiven des XX. Parteitags der KPdSU über den sechsten Fünfjahrplan zur Entwicklung der Volkswirtschaft der UdSSR während der Jahre 1956 bis 1960, Gospolitstat, 1956, Seite 15.

zur Erzeugung des Warmwassers. Im ersten Austauscher strömt der Dampf durch ein Rohrsystem, das von Wasser umgeben ist. Hierdurch verdampft das Wasser, und der Sekundär-Dampf wird durch Rohrleitungen der Industrie zugeführt, wo er beispielsweise Dampfhämmer oder Pressen antreibt beziehungsweise für sonstige technologische Prozesse verwendet wird. Die Leistung des Wärmeaustauschers *C* beträgt bis zu 50 t Dampf je Stunde. Sie läßt sich ein wenig variieren.

Das Kondensat wird von der Pumpe wieder in den Kessel gedrückt. Auf diese Weise wird der Kessel mit reinem Wasser gespeist.

Es ist auch möglich, den Abdampf der Turbinen direkt dem Verbraucher zuzuleiten, wobei auf Wärmeaustauscher im Heizkraftwerk verzichtet werden kann. Dadurch erhöht sich ebenfalls die Rentabilität dieser Kraftwerke. Allerdings muß dann dem Kessel wegen der Dampfverluste zusätzlich sehr sorgfältig aufbereitetes Frischwasser zugeführt werden.

Im Gegensatz zur Sekundär-Dampferzeugung zirkuliert bei der Warmwassererzeugung das Wasser im Wärmeaustauscher (Abb. 76) in einem Rohrsystem. Es tritt durch das Rohr *A* in die Anlage ein. Die Rohre werden von außen durch Dampf erwärmt, der durch das Rohr *B* eintritt. Das Kondensat verläßt der Wärmeaustauscher durch das Rohr *C* und wird in den Kessel gepumpt. Das erwärmte Wasser strömt vom Heizkraftwerk durch das Rohr *D* in das Warmwassernetz. Dabei kann es eine Eintrittstemperatur von 130°C und eine Austrittstemperatur von 70°C besitzen. Zur Übertragung auf große Entfernungen sind Eintrittstemperaturen von 180°C erforderlich.

In der eben beschriebenen Weise dienen Dampf und Wasser als Wärmeträger. Es ist angebracht, das Energiediagramm eines Heizkraftwerks zu behandeln, wie es in der Abbildung 77 dargestellt ist.

Die Fernheizung wird nicht nur in der Industrie oder in der kommunalen Wirtschaft der Städte, sondern auch in der Landwirtschaft angewendet. Besonders für die Viehhaltung bringt die Fernheizung großen Nutzen. In

der Tierzucht der Kollektivwirtschaften beträgt der Anteil der mechanischen Energie — zum Antrieb von Maschinen und Geräten — 15% bis 20%. Demgegenüber entfallen 80% bis 85% der erforderlichen Gesamtenergie auf Arbeitsvorgänge, bei denen Wärme verbraucht wird (Dämpfen des Futters, Erwärmen von Wasser, Heizen, Pasteurisieren der Milch). Beim Einsatz von Dampfkraftanlagen, beispielsweise von Lokomobilen, gehen etwa 60% der Brennstoffenergie mit dem Abdampf verloren. Wird

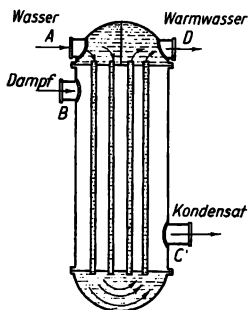


Abb. 76. Wärmeaustauscher zur Wassererwärmung

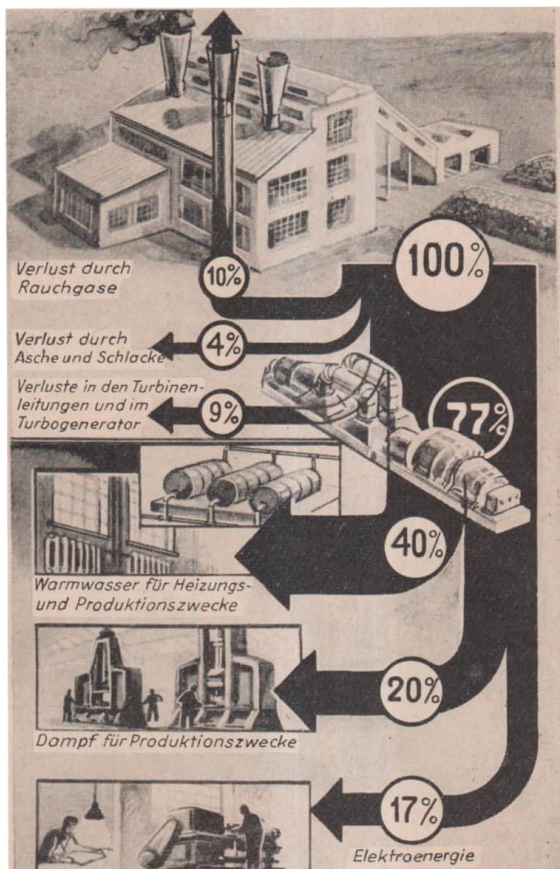


Abb. 77. Energiediagramm eines Fernheizkraftwerkes

dieser Dampf zur Fernheizung herangezogen, so erhöht sich der Wirkungsgrad der Anlage bis auf etwa 70%.

Für die Landwirtschaft wird heute eine spezielle Dampfkraftanlage gebaut (LPU-1), die Elektroenergie erzeugt und gleichzeitig zur Wärmeversorgung dient. Wenn in der Landschule die Fernheizung behandelt wird, sollten wir die Schüler mit der Dampfkraftanlage LPU-1 vertraut machen. Nach Möglichkeit werden wir natürlich eine derartige Anlage besichtigen. Anhand dieser Anlage können verschiedene physikalische Erscheinungen erklärt werden, die die Schüler in der Wärme- und in der Elektrizitätslehre kennengelernt haben. Diese Dampfkraftanlage zeigt in einfachster Weise die Grundlagen der Energieversorgung. Außerdem erfolgt bei ihr die kombinierte Erzeugung von Elektro- und Wärmeenergie, wodurch die Schüler auch mit diesem Problem der Energiewirtschaft vertraut gemacht werden können. Aus diesen Gründen besitzt die Behandlung und die Besichtigung dieser Anlage einen sehr großen bildenden und erzieherischen Wert.

Diese Dampfkraftanlage (Abb. 78) ist folgendermaßen aufgebaut:

In einem Wasserrohrkessel 1 wird Dampf mit einem Druck von 22 at erzeugt. Dieser Dampf tritt in die Dampfmaschine 2 ein, die den Elektrogenerator 3 antreibt. Der Generator weist eine Leistung von 25 kW auf. Nach Austritt des Dampfes aus der Dampfmaschine dient er zweierlei Zwecken.

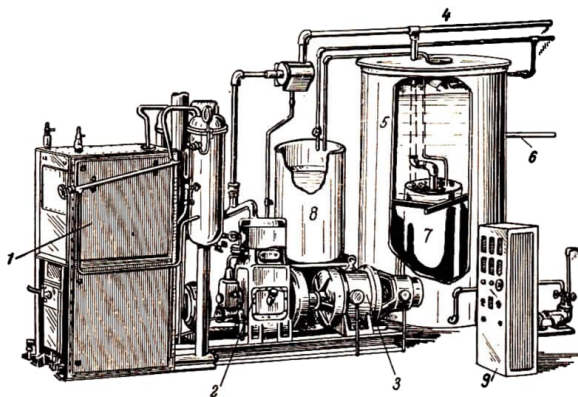


Abb. 78. In der Landwirtschaft verwendete Dampfkraftanlage LPU-1

1 Dampfkessel, 2 Dampfmaschine, 3 Elektrogenerator, 4 Rohrleitung des Abdampfes, 5 Behälter zur Wassererwärmung, 6 Rohr zur Entnahme von Warmwasser, 7 Kondensator (Wärmeaustauscher), 8 Speisewasserbehälter, 9 Schalttafel

Ein Teil gelangt in die Rohrleitung 4 zur direkten Verwendung, beispielsweise zum Dämpfen des Futters; der restliche Dampf durchströmt den Wassererwärmer 5. Das vom Dampf erwärmte Wasser läuft über das Rohr 6 zur Futterküche, in die Treibhäuser zur Warmwasserbeheizung und so weiter.

Die von der Dampfkraftanlage erzeugte elektrische Energie betreibt die Motoren und Geräte, die in der Viehhaltung benutzt werden, nämlich die verschiedenen Maschinen zur Futterbereitung (Schneiden, Zerkleinern, Waschen und Dämpfen), die elektrischen Melkanlagen, elektrische Schergeräte zur Schafschur und so weiter.

Zur Erwärmung des Bodens in Treibhäusern und zu ihrer Beheizung wird auch der Abdampf industrieller Anlagen verwendet.

Zusammenfassend können wir noch einmal feststellen, daß diese Stoffeinheit die Schüler erkennen läßt, welche Vorteile die Fernheizung besitzt. Sie erhöht den Wirkungsgrad der Wärmekraftanlagen, verringert den Verbrauch an Brennstoffen sowie das erforderliche Transportvolumen für die Anfuhr zum Verbraucher, steigert die Produktivität, erleichtert die Arbeit des Menschen und verbessert das Leben der Werktätigen.

ZEHNTE KLASSE

1. Der Wechselstrom

Innerhalb des Stoffabschnitts „Der Wechselstrom“ behandeln wir den Wechselstromgenerator, den prinzipiellen Aufbau des Drehstrommotors, die Haupttypen der Elektrizitätswerke sowie die Übertragung und die Verteilung der Elektroenergie. Diese Themen schließen wir in der 10. Klasse genauso wie bei der Behandlung der Elektrizitätslehre in der 7. Klasse mit Anwendungen der elektrischen Energie in Industrie, in Landwirtschaft und im Transportwesen ab. Darüber hinaus werden die Schüler mit der Elektrifizierung in der UdSSR vertraut gemacht.

Im folgenden geben wir den Lehrern didaktisches Material für die Behandlung dieser Themen. Dieses kann im Unterricht selbst, bei Exkursionen und für die außerunterrichtliche Arbeit herangezogen werden. Verschiedene Zahlenangaben sind für Anwendungsaufgaben und für grafische Darstellungen geeignet.

a) Drehstromgenerator und Asynchronmotor¹

1. **Drehstrom-Synchrongeneratoren.** Die elektrische Energie wird vorwiegend mit *Drehstrom-Synchrongeneratoren* erzeugt. Deshalb müssen die Schüler der 10. Klasse den prinzipiellen Aufbau und die Wirkungsweise

¹ Der Abschnitt „Drehstromgenerator und Asynchronmotor“ wurde von N. M. Schachmajewym verfaßt.

dieser Generatoren beherrschen. Wir knüpfen dabei an den Einphasenwechselstrom-Generator an, ohne daß nebensächliche Einzelheiten berücksichtigt werden.

Wir können die Generatoren in Schnell- und Langsamläufer einteilen. Schnellaufende Generatoren werden von Dampfturbinen (Turbogeneratoren), langsamlaufende hingegen von Wasserturbinen (Hydrogeneratoren) oder von Dieselmotoren (Dieselgeneratoren) angetrieben.

Bei den gebräuchlichen Drehstromgeneratoren wird der elektrische Strom in den Wicklungen des Ständers induziert. Drei Wicklungen bilden

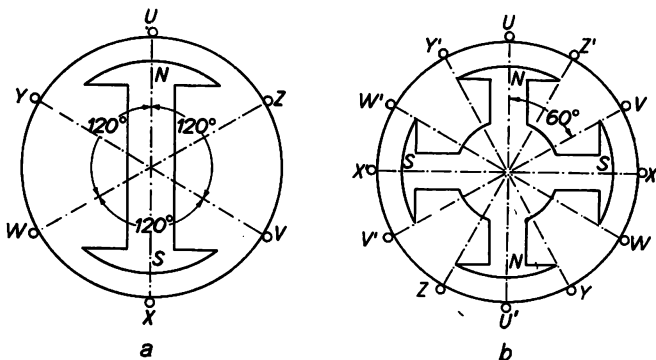


Abb. 79. Schematische Darstellung der Wicklung eines Drehstromgenerators. a) mit einem Polpaar, b) mit zwei Polpaaren

untereinander jeweils einen Winkel von 120° , wenn der Läufer des Generators ein Polpaar besitzt. Der Winkel zwischen den Wicklungen beträgt $\frac{120^\circ}{p}$, wenn der Läufer p Polpaare aufweist. Da die Schüler diesen Zu-

sammenhang nicht ohne weiteres erfassen, können wir eine Tafelskizze bringen (Abb. 79), die die Anordnung der Wicklungen bei einem Generator mit einem und mit zwei Polpaaren zeigt. Die gesamte Wicklung besteht aus Spulen, die in Nuten des Ständers liegen. Wir bezeichnen die Anfänge der Wicklungen mit den Buchstaben U, V und W sowie die Enden entsprechend mit X, Y und Z. In jeder Nut liegen ein oder zwei Schichten übereinander. Man bezeichnet sie deshalb als ein- oder zweischichtige Wicklungen. Gegenwärtig werden vorzugsweise Zweischichtwicklungen verwendet. Sie werden für Spannungen bis zu 20 kV gefertigt. Ihre Spulen lassen sich einzeln maschinell wickeln, gut isolieren und fertig in die Nuten einlegen.

Die Läufer der modernen schnellaufenden Turbogeneratoren werden aus einem Stahlrohling im ganzen gefertigt (Abb. 80). Die Erregerwicklung liegt bei diesen in den Nuten einer Volltrommel und ist hier derart befestigt, daß sie durch die erheblichen Zentrifugalkräfte nicht herausgerissen werden kann. Bei den Hydrogeneratoren ist der Läufer als Polrad ausgebildet, das auf dem Umfang ausgeprägte Pole besitzt (Abb. 45). Die Anzahl der Pole ist um so größer, je kleiner die Drehzahl des Rotors ist. Zum Beispiel besitzt das Polrad eines Generators im Dnepr-Wasserkraftwerk „W. I. Lenin“ 72 Pole bei einer Drehzahl von $83,3 \text{ min}^{-1}$. Der Läufer eines Generators

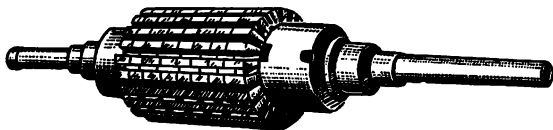


Abb. 80. Läufer eines Turbogenerators

im Wasserkraftwerk von Kuibyschew weist 88 Pole auf und läuft mit einer Drehzahl von $68,2 \text{ min}^{-1}$.

Der Erregerstrom wird gewöhnlich von einem Gleichstrom-Nebenschluß-Generator geliefert, der sich mit dem Läufer auf einer Welle befindet.

Die Frequenz des erzeugten Wechselstroms berechnet sich nach der Beziehung $f = \frac{n \cdot p}{60}$ (in Hz). In dieser Gleichung gibt n die Drehzahl und p die Anzahl der Polpaare an. Die Drehzahlen moderner Hydrogeneratoren liegen zwischen 60 min^{-1} und 750 min^{-1} .

Wir werden im Unterricht auch die Kühlung der Generatoren erwähnen. Die Schüler kennen bereits die Wärmewirkung des Stromes, so daß wir die Erwärmung der Generatoren durch die Entstehung von Wirbelströmen im Ständer und durch die Selbstinduktion in den Ständerwicklungen erklären können. Aus diesem Grunde wird sowohl durch den Luftspalt zwischen Ständer und Läufer als auch durch spezielle Kühlkanäle im Ständer gereinigte Luft hindurchgedrückt. Bei Generatoren hoher Leistung wird statt Luft mit Wasserstoff gekühlt, da dieser eine günstigere Wärmeübergangszahl und eine kleinere innere Reibung als Luft besitzt. Das Kühlsystem eines Generators ist in sich geschlossen (Kreislaufkühlung). Bei Wasserstoff wird ein erhöhter Druck aufrecht erhalten. Hierdurch wird bei Beschädigungen der Dichtung vermieden, daß in die Maschine Luft eindringt und sich ein explosives Gasgemisch bildet.

Im Wasserkraftwerk von Kuibyschew sind die zur Zeit größten Hydrogeneratoren der Welt aufgestellt. Sie besitzen eine Leistung von je 105 MW .¹

¹ Seit dem 9. 12. 1960 ist das Stalingrader Wasserkraftwerk voll in Betrieb. Es besitzt 21 Turbinen mit einer Leistung von je 115 MW (s. „Neues Deutschland“ vom 12. 12. 1960). Die Zahlenangaben auf S. 120, Tabelle 4, weichen davon ab.

Es ist schließlich darauf hinzuweisen, daß die modernen Drehstromgeneratoren einen hohen Wirkungsgrad besitzen. Der Wirkungsgrad sehr leistungsfähiger Hydrogeneratoren beträgt 0,96 bis 0,98, der von Turbogeneratoren 0,94 bis 0,99.

2. Drehstrom-Asynchronmotoren. Der *Drehstrom-Asynchronmotor* mit Kurzschlußläufer¹ ist der am häufigsten verwendete Elektromotor. Er besitzt günstige technische und ökonomische Eigenschaften.

Wir empfehlen, die unterrichtliche Behandlung des Asynchronmotors nach folgenden Gesichtspunkten vorzunehmen:

- a) Der Aufbau des Motors,
- b) die Erzeugung des Drehfeldes,
- c) die Arbeitsweise des Motors und
- d) kurze Erläuterung der Kennlinie des Motors.

Bei dieser Darstellung benutzen wir das Modell eines Motors, wie es beispielsweise Abbildung 81 zeigt. Allerdings läßt sich die Entstehung des Drehfeldes leichter an einem Modell erklären, das keine ausgeprägten Pole besitzt. Deshalb benutzen wir eine Anschauungstafel mit der grafischen Darstellung eines Dreiphasenwechselstroms, auf der die einzelnen Phasen jeweils durch eine gelbe, grüne beziehungsweise violette Sinuskurve wieder-

gegeben werden. Darunter befinden sich Abbildungen der Ständer-Magnetfelder für jede achtel Periode (Abb. 82). Diese zeigen die Stromrichtung sowie die magnetischen Feldlinien um die Leiter mit gleicher Stromrichtung. Als positive Stromrichtung wählen wir die Richtung von den Spulenanfängen *U*, *V* und *W* zu ihren Enden *X*, *Y* und *Z*. Anhand dieses Anschauungsbildes können wir leicht

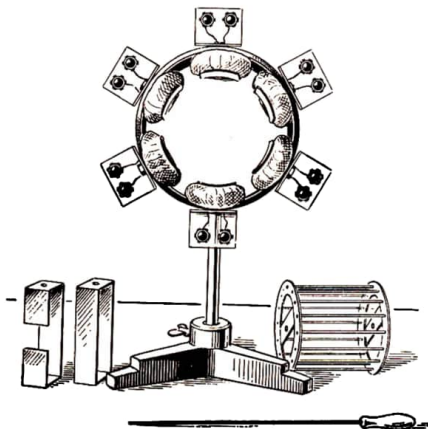


Abb. 81. Modell eines Asynchronmotors

¹ Da in diesem Buch nur auf den Asynchronmotor mit Kurzschlußläufer eingegangen wird, entfällt in der Folge der Zusatz „Kurzschlußläufer“.

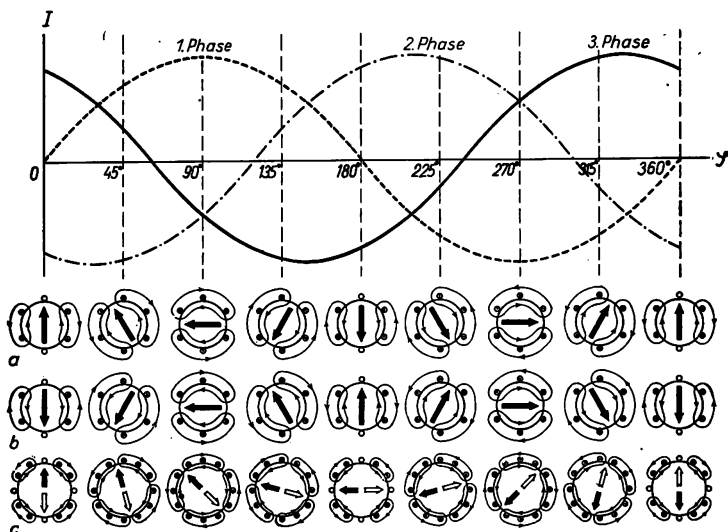


Abb. 82. Entstehung eines Drehfeldes durch Dreiphasenwechselstrom

a) Linkslauf und b) Rechtslauf des Drehfelds bei dreispuliger Wicklung sowie c) Linkslauf des Drehfelds bei sechsspuliger Wicklung

das Drehfeld erklären, das bei Abbildung 82a und b während einer Periode eine ganze Umdrehung vollführt.

Anschließend zeigen wir folgenden einfachen Versuch: Wir bringen in den Innenraum eines Ständers, der an das Drehstromnetz angeschlossen wird, eine kleine Stahlkugel. Sie beginnt sogleich zu rotieren. Dies beweist, daß unsere theoretischen Betrachtungen leicht experimentell bestätigt werden können. Eine genaue Erklärung des Versuchs soll erst später erfolgen. Aber wir können bereits die Schüler darauf hinweisen, daß der bekannte Erfinder M. O. Doliwo-Döbrowolski das erste Drehfeld mit Dreiphasenwechselstrom erzeugt hat.

Schließlich erläutert der Lehrer, wie die Drehrichtung des Asynchronmotors geändert werden kann. Dies führen wir am Motormodell vor, indem wir dort zwei beliebige Phasenanschlüsse, die die Wicklungen mit dem Drehstromnetz verbinden, miteinander vertauschen. Die Begründung für die Drehrichtungsänderung liefert uns Abbildung 82b. In der Praxis erfolgt

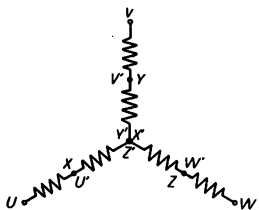


Abb. 83. Schaltung einer Wicklung mit sechs Spulen

die Umsteuerung durch Schütze oder im einfachsten Falle durch Dreiphasen-Hebelumschalter.

Die Schüler müssen auch erfahren, daß bei Asynchronmotoren mit Kurzschlußläufern die Drehzahl von der Anzahl der Spulenpaare abhängt. Verwendet man nicht drei, sondern sechs Spulen und schaltet sie wie in Abbildung 83, so vollführt das Magnetfeld während einer Periode nur eine halbe Umdrehung (Abb. 82c). Die Drehzahl verringert sich also um die

Hälfte. In jedem Falle wird die Drehzahl des Magnetfeldes durch die Gleichung bestimmt.

$$n = \frac{f \cdot 60}{p} \quad (\text{in min}^{-1}).$$

Falls die Schule ein Tachometer besitzt, läßt sich die Richtigkeit dieser Beziehung leicht nachweisen, indem man die Spulen des in der Abbildung 81 dargestellten Modells entsprechend schaltet.

Bei der Rotation des Magnetfelds mit konstanter Winkelgeschwindigkeit wird im Läufer ein Strom induziert. Dies muß den Schülern gezeigt werden. Deshalb bringen wir in den Ständer des Motormodells eine Spule, die sich um eine horizontale Achse drehen kann (Abb. 84). Sie besteht aus Kupferdraht mit 40 bis 50 Windungen. In den geschlossenen Leiterweg ist eine Glühlampe niedriger Spannung geschaltet. Die Glühlampe leuchtet hell, wenn sich die Spule nicht dreht. Sie glüht immer schwächer, je schneller sich die Spule dreht. Schraubt man die Glühlampe heraus, wird der Stromkreis unterbrochen, und die Spule bleibt stehen. Diese Erscheinungen sind noch besser zu beobachten, wenn ein Eisenkern in die Spule gebracht wird.

Die Drehung des Läufers erklären wir aus der Wechselwirkung zwischen dem Strom in der Ständerwicklung und dem Induktionsstrom im Läufer (Abb. 85). Die Stromrichtung im Läufer läßt sich nach der Lenzschen Regel oder der Rechten-Hand-Regel bestimmen.

Es ist wichtig, darauf hinzuweisen, daß der Läufer nicht die Umlaufgeschwindigkeit des Drehfelds erreichen kann. In diesem Falle würde sich der magnetische Fluß durch die Läuferwicklung nicht ändern, so daß im Läufer kein Induktionsstrom entstehen könnte.

Wird der Motor belastet, nimmt seine Drehzahl ab. Hierdurch vergrößert sich die Änderungsgeschwindigkeit des magnetischen Flusses im Läufer. Die damit verbundene Er-

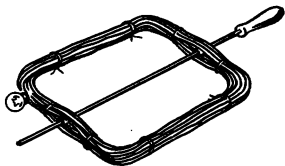


Abb. 84. Spule mit Glühlampe zur Demonstration des Induktionsstroms im Läufer des Asynchronmotors

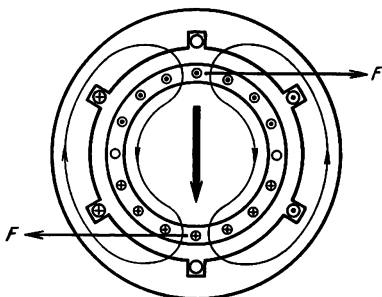


Abb. 85. Darstellung des Drehmoments beim Asynchronmotor

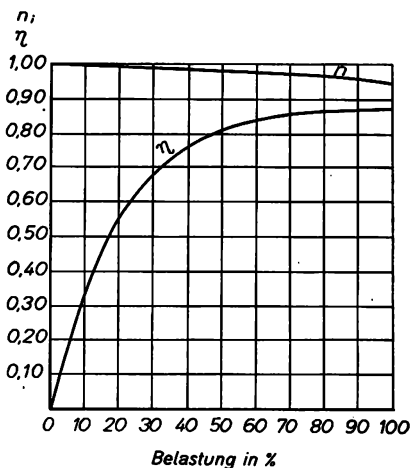
höhung des induzierten Stroms vergrößert schließlich das Drehmoment des Motors auf den Betrag des Lastmoments. Hieraus wird den Schülern verständlich, warum bei Drehstrommotoren die Umlaufgeschwindigkeit von der Belastung abhängt. Da die Drehzahl des Läufers kleiner ist als die des Drehfelds, werden sie als Asynchronmotoren bezeichnet.

Die heute hergestellten Asynchronmotoren weisen Leistungen zwischen Bruchteilen eines Watts und einigen Megawatt auf. Die Drehstrom-Asynchronmotoren be-

sitzen einen hohen Wirkungsgrad, der bei den besten Maschinen 0,92 bis 0,98 beträgt. Dabei ist jedoch zu beachten, daß der Wirkungsgrad von der Belastung abhängt. Nicht voll beziehungsweise überbelastete Motoren haben einen geringeren Wirkungsgrad (Abb. 86).

Während wir im Physikunterricht hauptsächlich den prinzipiellen Aufbau und die Wirkungsweise des Asynchronmotors behandeln, können wir konstruktive Einzelheiten in den Betrieben und im Lehrgang „Elektrotechnik“ klären.¹ Allerdings soll auch der Physiklehrer auf die zahlreichen Einsatzmöglichkeiten dieses Motors in der Produktion eingehen (siehe Seite 168).

Abb. 86. Wirkungsgrad η und Drehzahl n eines Drehstrom-Asynchronmotors in Abhängigkeit von der Belastung



¹ In der Sowjetunion wird in der 10. Klasse ein Lehrgang „Elektrotechnik“ durchgeführt. Vergleiche hierzu die deutsche Ausgabe: B. M. Smetanin, *Elektrotechnik in der 10. Klasse der sowjetischen Schule, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1959, Bestell-Nr. 06 002 - 1.*

b) Elektrifizierung in der UdSSR

Die elektrische Energie ist für die moderne technische Entwicklung außerordentlich bedeutungsvoll. W. I. Lenin sagte auf dem III. Komsomolkongreß: „Ihr versteht ausgezeichnet, daß man mit Analphabeten bei der Elektrifizierung nichts anfangen kann, und auch die einfache Schulbildung reicht hier nicht aus. Hier genügt nicht zu wissen, was Elektrizität ist, man muß wissen, wie sie sowohl in der Industrie als auch in der Landwirtschaft als auch in den einzelnen Zweigen der Industrie und Landwirtschaft technisch anzuwenden ist. Man muß das selbst lernen, muß es der ganzen heranwachsenden werktätigen Generation beibringen.“¹

Wenn wir die Schüler der 10. Klasse mit der Elektrifizierung vertraut machen, müssen wir betonen, daß das vorrevolutionäre Rußland in der Erzeugung elektrischer Energie einen der letzten Plätze im Weltmaßstab einnahm. Der Pro-Kopf-Verbrauch betrug jährlich insgesamt 8 kWh. Der gewaltige Sprung in der ökonomischen Entwicklung der Sowjetunion ist am besten daran zu erkennen, daß 1950 der Pro-Kopf-Verbrauch auf 450 kWh angestiegen war.

Der GOELRO-Plan (1920) war der erste Plan zur Umwandlung der Volkswirtschaft nach der Großen Sozialistischen Oktoberrevolution. Es war beabsichtigt, innerhalb von 10 bis 15 Jahren neue Elektrizitätswerke mit einer Gesamtkapazität von 1500 MW aufzubauen und die vorhandenen so zu rekonstruieren, daß sich dadurch ihre Leistung auf 250 MW erhöhen sollte. Auf diese Weise sah der GOELRO-Plan eine Gesamtvergrößerung der Kapazität der Elektrizitätswerke um 1750 MW vor, was eine Erzeugung von 8,8 Milliarden kWh Elektroenergie pro Jahr gewährleistete. Der GOELRO-Plan umfaßte folgende Hauptaufgaben:

- a) Aufbau einer einheitlichen Energiewirtschaft,
- b) Ausnutzung örtlicher Brennstoffvorkommen und Wasserkräfte,
- c) Bau neuer Kraftwerke in Verbindung mit Hochspannungsnetzen,
- d) Vorbereitung eines Verbundbetriebes,
- e) technische Umgestaltung der gesamten Industrie und Landwirtschaft,
- f) Inbetriebnahme von Heizkraftwerken.

Dieser Plan wurde 1935 um das 2,5fache übererfüllt. Die Leistungsfähigkeit der Elektrizitätswerke wurde von 1 Million kW im Jahre 1913 auf 8,5 Millionen kW im Jahre 1937 gesteigert.

Bis zur Großen Sozialistischen Oktoberrevolution betrug die Energieerzeugung aller Elektrizitätswerke Rußlands 1,6 Milliarden kWh pro Jahr. Heute liefert ein Wasserkraftwerk am Dnepr mehr Elektroenergie als alle Elektrizitätswerke im vorrevolutionären Rußland. Dadurch konnten in steigendem Maße die verschiedenen Zweige der Volkswirtschaft mit Elektroenergie versorgt werden, und der elektrische Antrieb der Maschinen veränderte in den Betrieben, Gruben und Schächten den Charakter der Produktionsprozesse.

¹ W. I. Lenin, Gesamtausgabe, Band 31, Seite 264 (russ.)

Aus der Abbildung 87 ersehen wir, wie die Elektroenergie-Erzeugung besonders von 1950 bis 1955 sprunghaft anstieg. 1955 wurde nahezu 90mal mehr elektrische Energie als 1913 und 3,5mal mehr als 1940 erzeugt.

Die Sowjetunion verfügt über gewaltige Wärme- und Wasserkraftwerke. Hiervon seien einige Wasserkraftwerke genannt, die in Betrieb beziehungsweise noch im Bau sind:

Werchne-Swir (160 MW), Zimljanskaja (164 MW), Gjumusch (224 MW), Dneprodshinsk (250 MW), Mingetschaur (357 MW), Tscheboksary (800 MW), Saratow (1000 MW), Kuibyschew (2100 MW), Stalingrad (2300 MW), Krasnojarsk (3200 MW), Bratsk (3200 MW). Allein 1955 wurden mehr als 140 große Wasser- und Wärmekraftwerke mit einer Gesamtleistung von einigen Zehntausend Megawatt errichtet.

Gegenwärtig wird ungefähr 75% der Elektroenergie in Wärmekraftwerken gewonnen, die örtliche Brennstoffe verwenden.

Es ist hervorzuheben, daß die sowjetischen Wasserkraftwerke nicht nur Energie erzeugen, sondern daß ihre Stauseen gleichzeitig andere Aufgaben erfüllen (Schifffahrt, Bewässerung, Wasserversorgung, Fischzucht).

Nicht zuletzt sei betont, daß in der Sowjetunion das erste Kernkraftwerk der Welt gebaut wurde, das elektrischen Strom für Industrie und Landwirtschaft liefert. Zur Zeit werden weitere Kernkraftwerke noch größerer Leistung gebaut. Diese Tatsachen kennzeichnen den mächtigen technischen Fortschritt, der zur weiteren Entwicklung der Produktivkräfte in der Sowjetunion beiträgt.

Die Partei und die Regierung der Sowjetunion haben die überragende Bedeutung der elektrischen Energie für die Volkswirtschaft erkannt, und W. I. Lenin brachte dies bereits mit den Worten zum Ausdruck: „Kommunismus — das ist Sowjetmacht plus Elektrifizierung des ganzen Landes“.

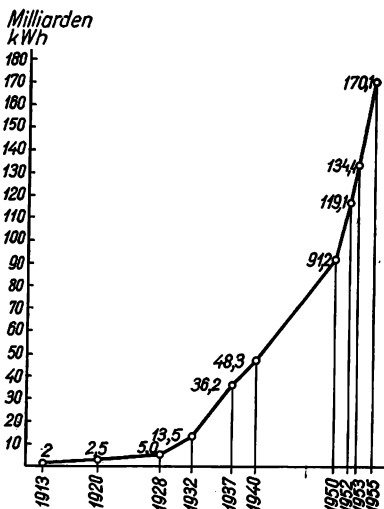


Abb. 87. Elektroenergie-Erzeugung in der UdSSR

Von 1956 bis 1960 ist eine Steigerung der Elektrizitätserzeugung um 88% vorgesehen, während die Industrieproduktion um annähernd 65% anwachsen soll. Im Jahre 1960 sollen die Kraftwerke der Sowjetunion 320 Milliarden kWh Elektroenergie erzeugen. Hiervon entfallen 59 Milliarden kWh auf Wasserkraftwerke, deren Leistung um das 2,7fache zunehmen wird. 1955 wurden von Wasserkraftwerken 23,1 Milliarden kWh erzeugt. Die Leistung der Wärmekraftwerke soll sich bis 1960 um das 2,2fache vergrößern.

Die Tabelle 4 zeigt uns, wie die Leistung der Wasserkraftwerke gesteigert wurde. Zum Vergleich wird das Wasserkraftwerk Wolchow zugrunde gelegt, das als erstes gebaut wurde.

Tabelle 4
Leistungen wichtiger Wasserkraftwerke

Kraftwerk	Jährliche Elektroenergie-Erzeugung Milliarden kWh	Installierte Leistung MW	Leistung je Generator MW
Wolchow		64	16
Dneprowsk	3,06	650	72
Kuibyschew	11,3	2100	105
Stalingrad	11	2300	105
Bratsk	22	3200	200
Krasnojarsk		3200	250 bis 300

Gegenwärtig laufen technische Untersuchungen für die Projektierung von Wasserkraftwerken mit einer Leistung von 5000 MW und darüber.

Von den zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten der elektrischen Energie seien einige Beispiele genannt (vergleiche hierzu auch Abbildung 88):

Mechanische Bearbeitung der Werkstoffe: Schneiden, Stanzen und Schmieden.

Thermische Verfahren bei hohen und niedrigen Temperaturen: Schmelzen, Glühen, Härten, Schweißen, Trocknen, Erwärmen und Verdampfen.

Elektrochemische Prozesse: Gewinnung reiner Metalle; Galvanoplastik, Galvanostegie und elektrolytisches Polieren.

Landwirtschaftliche Produktion: Elektrotraktor, Dreschmaschine, Futteraufbereitung und Melkanlagen.

Transport- und Verkehrswesen: Elektrolok, Straßenbahn, Oberleitungsbus und Elektrokarren.

Post- und Fernmeldewesen: Telegraf, Telefon und Rundfunk.

Lichttechnik: Verschiedenste Beleuchtungsarten.

Von der erzeugten Elektroenergie wird in der Sowjetunion über 70% für die Industrie geliefert (Abb. 89). Davon wird der größte Teil zum Antrieb

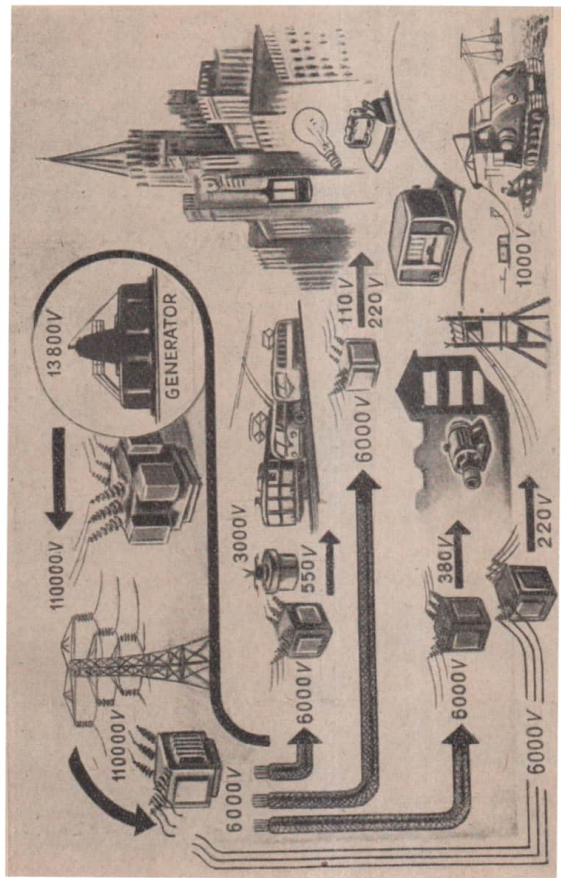


Abb. 88. Verschiedene Anwendungsgebiete der Elektrizität

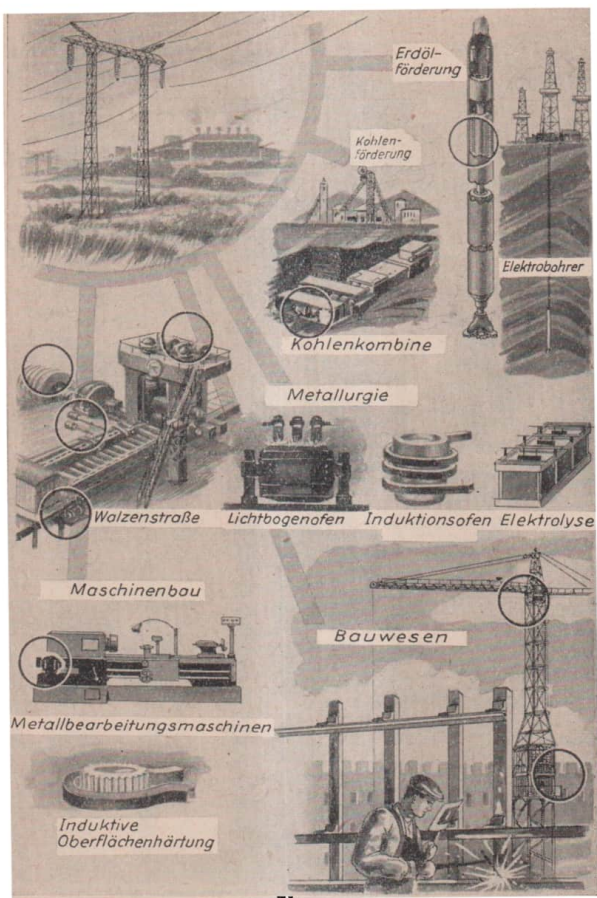


Abb. 89. Anwendung der Elektroenergie in der Industrie. (Die Kreise deuten die Stellen an, an denen sich Elektromotoren befinden.)

von Werkzeug- und anderen Maschinen benötigt. Einen wesentlichen Anteil erfordern die technologischen, insbesondere die elektrothermischen Prozesse. Auf sie entfallen 10% bis 15% der gesamten elektrischen Energie. Dagegen ist für Beleuchtungszwecke nur 1% erforderlich.

Im folgenden wollen wir auf einige Anwendungen aus der Industrie, aus der Landwirtschaft und aus dem Transportwesen ausführlicher eingehen. Dabei wird nichts über die Elektromotoren gesagt, da deren Einsatz in einem besonderen Kapitel besprochen wird (vgl. S. 140).

1. Industrie. Metallurgie. Die Herstellung vieler hochwertiger legierter Stahlsorten erfolgt in Elektroöfen, die auch zum Umschmelzen von Buntmetallen verwendet werden.

In der modernen Metallurgie wird zum Stahlschmelzen vorwiegend der *Lichtbogenofen* verwendet. Dieser besitzt ein Ofengefäß aus kräftigen Kesselblechen, das innen mit feuerfestem Material ausgekleidet ist. Durch den Deckel des Ofens führen drei mehr als armdicke Kohle- oder Graphitelektroden, die an eine Drehstromquelle angeschlossen sind.

Der Schmelzvorgang verläuft folgendermaßen: Die Elektroden werden so weit gesenkt, bis sie Kontakt mit dem Einsatzgut haben. Dann wird der Stromkreis geschlossen, und die Elektroden werden etwas angehoben, so daß Lichtbögen entstehen. Da sich beim Abschmelzen im Einsatzgut Vertiefungen ausbilden, werden die Elektroden automatisch gesenkt, und zwar so lange, bis sie mit dem flüssigen Metall selbst den Lichtbogen bilden. Nun werden die Elektroden wieder entsprechend der steigenden Schmelze gehoben, bis das gesamte Schmelzgut flüssig ist. Wenn man den Lichtbogen noch länger einwirken läßt, kann man durch Oxydation und Reduktion bestimmte Stahlsorten erhalten. Die Dauer des Schmelzprozesses beträgt im Durchschnitt 2 bis 3,5 Stunden. Im Lichtbogen fließen Ströme bis zu 50 kA bei einer Spannung von 220 V bis 650 V. Der Gesamtenergieverbrauch beim Schmelzen einer Tonne Stahl beträgt im Mittel 750 kWh. Moderne Lichtbogenöfen benötigen eine Leistung von 30 MW bis 40 MW bei einem maximalen Fassungsvermögen von 200 Tonnen flüssigen Stahls. Gegenwärtig werden für das Stahlschmelzen Lichtbogenöfen entwickelt, deren Fassungsvermögen noch größer ist.

Die Ofentemperatur wird mittels optischer oder thermoelektrischer Pyrometer (mit Wolfram-Molybdän-Thermoelement) kontrolliert. Sie beträgt beim geschmolzenen Metall etwa 1600°C.

Die *induktive Erwärmung* wird gleichfalls zum Schmelzen von Eisen und Buntmetallen angewendet. Sie dient ferner zur Oberflächenhärtung von Stahl, zum Erhitzen der Rohlinge vor dem Schmieden und des Halbzeugs vor dem Stanzen, zum Holztrocknen und so weiter. Bei diesem Verfahren wird durch eine Wechselspannung in einem zweiten Leiter ein Strom induziert, der diesen nach dem Jouleschen Gesetz erwärmt.

Zum Schmelzen der Metalle werden auch die Induktions-Tiegelöfen benutzt. Ein solcher Tiegelofen stellt im Prinzip einen Transformator dar,

bei dem eine wassergekühlte Kupferspule den Primärkreis und das Schmelzgut den Sekundärkreis bilden. Das Schmelzgut befindet sich in einem feuerfesten Tiegel, der ein Fassungsvermögen von einigen Tonnen hat. Im Primärkreis fließt ein Strom mit einer Frequenz von 100 Hz bis 150 Hz und darüber. Kleine Induktionsöfen werden auch in Laboratorien verwendet.

Da Hochfrequenzströme nur an der Oberfläche der Leiter fließen, können sie zur Oberflächenhärtung herangezogen werden. Ihre Eindringtiefe ist umgekehrt proportional der Quadratwurzel ihrer Frequenz. In der Praxis verwendet man Frequenzen von einigen Zehntausend bis einigen Millionen Hertz, so daß die Werkstücke nur in einer Schicht von einigen zehntel Millimetern gehärtet werden. Dieses Verfahren ist sehr einfach und für die Massenfertigung besonders geeignet.

Welche Vorteile dieses Verfahren hat, zeigt folgendes Beispiel: Zur Induktionshärtung der Kurbelwelle des Traktors ChTS werden insgesamt 45 Sekunden benötigt. Die bisherigen Methoden der Thermobearbeitung erfordern dazu 4 Stunden. Hochfrequenzströme werden auch zur schnellen Trocknung verschiedener Materialien herangezogen.

Elektro-erosive Metallbearbeitung. Unter der elektro-erosiven Metallbearbeitung versteht man Verfahren, bei denen die Elektrizität unmittelbar zur Abtragung der Metalle verwendet wird. Beim Funken-Erosionsverfahren wird das Werkstück als Anode durch Funkenentladungen bearbeitet.

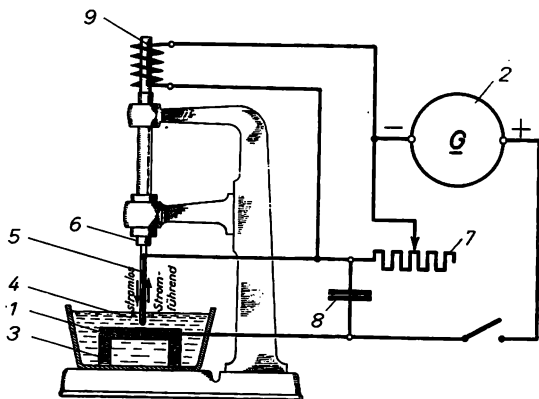


Abb. 90. Schematische Darstellung des Funken-Erosionsverfahrens

1 Werkstück, 2 Gleichstromgenerator, 3 Spannvorrichtung, 4 Behälter mit Petroleum, 5 Bohrelektrode, 6 Führungstange für Bohrelektrode, 7 Belastungswiderstand, 8 Kondensator, 9 Vibrationskopf mit Eisenkern und Spule

Abbildung 90 zeigt das Schema einer funken-erosiven Bohranlage. Das Werkstück 1 wird mit dem Pluspol des Gleichstromgenerators 2 verbunden. Es ist auf der Spannvorrichtung 3 befestigt, die sich in einem Flüssigkeitsbehälter 4 befindet, in dem Petroleum oder Trafoöl ist. Die Bohrelektrode 5 ist mit dem Minuspol des Generators verbunden. Sie ist gegenüber der Führungsstange 6 isoliert, mit der sie sich auf- und abwärts bewegen kann. Der Belastungswiderstand 7 reguliert die Stromstärke, und die Funkenentladung erfolgt über den Kondensator 8.

Die Maschine arbeitet folgendermaßen: Die Bohrelektrode bewegt sich mit der Führungsstange und dem Eisenkern auf Grund der eigenen Schwere nach unten. Bei genügender Annäherung an das Werkstück (50 μm bis 250 μm Abstand) erfolgt die Funkenentladung, die aus dem Werkstück kleinste Metallteilchen heraussprengt. Im Moment der Entladung des Kondensators fließt auch ein Strom durch die Spule des Vibrationskopfes. Dadurch wird der Eisenkern in die Spule gezogen und die Bohrelektrode angehoben. Da nach erfolgter Funkenentladung kein Strom mehr fließt, ist die Spule stromlos, und der eben geschilderte Vorgang wiederholt sich aufs neue.¹

Die Elektro-Erosion hat der Metallbearbeitung ganz neue Wege gewiesen. Sie kann bei Metallen mit den verschiedensten physikalischen und mechanischen Eigenschaften angewendet werden. So konnten früher naturharte und gehärtete Stähle, Hartmetalle, magnetische und andere Werkstoffe nur durch Schleifen bearbeitet werden. Tiefe Bohrungen mit Durchmessern von 0,1 mm bis 0,2 mm sowie enge Spalte bereiteten selbst bei weicheeren Metallen Schwierigkeiten, während an eine Herstellung verschiedenartiger, gekrümmter Bohrungen in Metallen gar nicht zu denken war (Abb. 91). Die elektro-erosiven Verfahren geben uns diese Möglichkeiten; sie sind außerdem einfach zu handhaben und zuverlässig in der Ausführung. Da die Spanabnahme ohne mechanischen Kontakt mit dem Werkstück erfolgt, kann als Elektrodenmaterial auch ein weiches Metall (beispielsweise Messing oder Kupfer) dienen.

Die Elektroenergie wird auch bei vielen anderen Verfahren zur Be- und Verarbeitung der Metalle angewendet. Beispielsweise wird das Nieten erfolgreich durch das Elektroschweißen ersetzt.

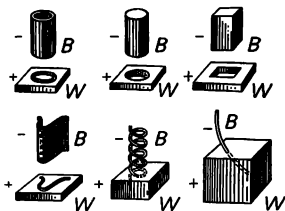


Abb. 91. Elektro-erosive Metallbearbeitung. Verschiedene Profile der Bohrelektroden

B Bohrelektrode, W Werkstück

¹ Beim Lichtbogen-Verfahren erfolgt eine direkte Berührung des Werkstückes, und durch die Auf- und Abwärtsbewegung der Bohrelektrode wird der Lichtbogen ständig neu gebildet. Beim Funken-Erosionsverfahren ist der Vibrationsvorgang nicht unbedingt erforderlich, da sich sowieso die Kondensatoren immer wieder frisch aufladen müssen; aber das Vibrieren der Bohrelektrode begünstigt das Wegspülen der abgearbeiteten Metallteilchen bei tiefen Bohrungen mit kleinen Durchmessern.

Auf Grund der weiteren Elektrifizierungsmaßnahmen wird der Bedarf der Industrie an elektrischer Energie 1960 doppelt so hoch sein wie 1954.

2. Landwirtschaft. In der Landwirtschaft überstieg im Jahre 1954 die Leistung aller elektrischer Betriebsmittel 2000 MW, während der Verbrauch an elektrischer Energie nahezu 2,5 Millionen MWh betrug. Die weitere Mechanisierung der Landwirtschaft wird den Bedarf an Elektroenergie beträchtlich steigern.

In den Direktiven des XX. Parteitagcs der KPdSU zur Entwicklung der Volkswirtschaft in der UdSSR hieß es: „Es ist eine breite Anwendung der Elektroenergie in der landwirtschaftlichen Produktion zu gewährleisten. Deshalb müssen die Kolchosen und Sowchosen an die Hochspannungsnetze angeschlossen und weitere örtliche Wärme- und Wasserkraftwerke gebaut werden.“¹

Bis 1960 soll sich die Anzahl der Kolchosen verdoppeln, die ihre Elektroenergie aus Kraftwerken beziehen. Ferner wird die Elektrifizierung der Sowchosen und der MTS abgeschlossen werden. Im Jahre 1960 wird der Bedarf an Elektroenergie in der Landwirtschaft um das 2,2fache gegenüber 1955 angewachsen sein.

Die Partei und die Regierung der Sowjetunion messen dem Einsatz der Elektroenergie in der Landwirtschaft große Bedeutung bei. N. S. Chruschtschow sagte: „Es ist notwendig, daß alle unsere Arbeiter die Elektrifizierung der Kolchosen und Sowchosen als wesentlichen Bestandteil des großen Plans der Elektrifizierung unseres Landes ansehen.“²

Die sowjetische Industrie stellt mehr als 500 Typen elektrischer Maschinen und Geräte für die Landwirtschaft her. Im Augenblick gibt es über 50 Anwendungsgebiete für die Elektrizität. Sie wird unter anderem verwendet zum Pflügen und Dreschen, zur Futteraufbereitung und Trinkwasserversorgung, zum Melken und Schafescheren, zum Antrieb von Mühlen und Sägewerken, für Trocknungsanlagen und Beleuchtungszwecke (Abb. 92). Auf einige Beispiele gehen wir im folgenden ausführlicher ein.

Elektrische Beheizung der Frühbeete. Ein blanker, verzinkter Widerstandsdraht wird in Asbestzementröhren verlegt. Der elektrische Strom erwärmt den Heizdraht, der seine Wärme an die angrenzenden Sand- und Erdschichten sowie die umgebende Luft abgibt (Abb. 93).

Beim Elektroden-Verfahren wird die Erde selbst als Leiter verwendet und vom Strom erwärmt. Die Eisen-Elektroden werden in die Frühbeete versenkt und an einen Wechselstromkreis angeschlossen (Abb. 94). Wie wir wissen, ist die vom Strom erzeugte Wärme proportional dem Widerstand des Leiters. Folglich muß sich die Erde erwärmen, da sie einen erheblichen

¹ Direktiven des XX. Parteitags der KPdSU über den sechsten Fünfjahrplan zur Entwicklung der Volkswirtschaft der UdSSR während der Jahre 1956 bis 1960, Gospolitizdat, 1956, Seite 89.

² N. S. Chruschtschow, Rechenschaftsbericht des ZK der KPdSU auf dem XX. Parteitag, Gospolitizdat 1956, Seite 75.

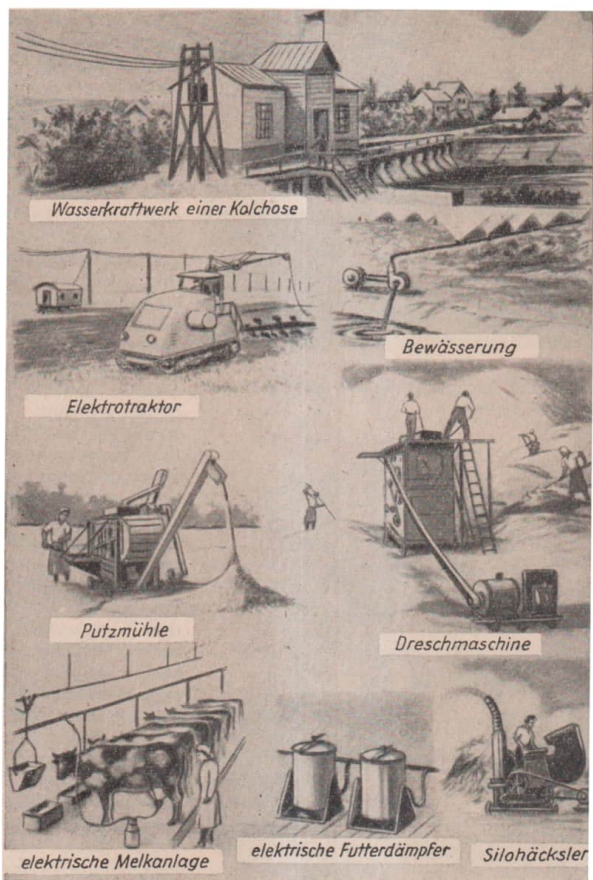


Abb. 92. Anwendung der Elektrizität in der Landwirtschaft

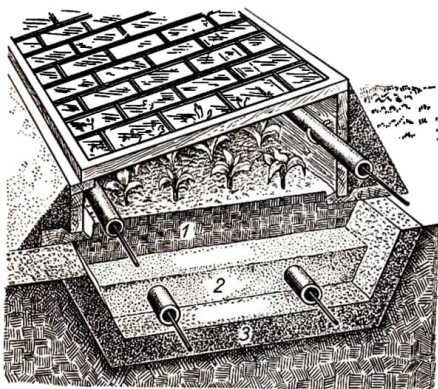


Abb. 93

Elektrische Beheizung eines Frühbeets mit Heizdrähten
1 Erde, 2 Sand, 3 Schlacke

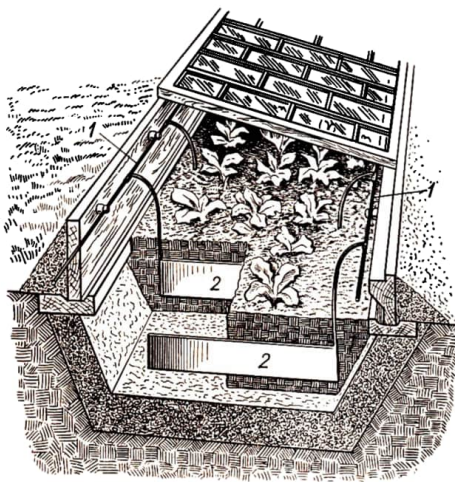


Abb. 94

Elektrische Beheizung eines Frühbeets mit Elektroden
1 Leitungsdraht, 2 Elektroden

Widerstand besitzt. Die Elektroden selbst geben kaum Wärme ab, weil ihr Widerstand sehr gering ist.

Elektrische Warmwasserbereitung. In den Futterküchen werden vielfach Elektrodenerhitzer zur Wasserverwärmung angewendet. Der Erhitzer besteht aus einem isolierten Gestell, an dem drei Elektroden unter einem Winkel von 120° befestigt sind (Abb. 95). Dieser Erhitzer wird in ein beliebiges Gefäß mit Wasser gestellt. Bei Stromdurchgang erwärmt sich das Wasser, das gleichzeitig den Heizwiderstand darstellt. Auch bei Futterdämpfanlagen werden Elektroden-Dampfkessel eingesetzt. Diese haben den Vorteil, daß die Leistung mit schwindender Wassermenge abnimmt. Wenn kein Wasser im Kessel ist, kann auch kein Strom fließen, was eine hohe Betriebssicherheit zur Folge hat.

Elektromagnetische Saatgutreinigung. Verschiedene Unkrautsamen kommen in ihrer Form, ihrem Gewicht und in ihrer Größe den Kultursamen sehr nahe. Sie lassen sich deshalb weder durch Siebe noch durch einen Luftstrom

abtrennen. Solche Verunreinigungen sind beispielsweise die Kleeseide und der Spitzwegerich beim Klee sowie Unkrautsamen bei Flachs, Raps, Rübsen, Wicken und so weiter. Da die Unkrautsamen im allgemeinen eine rauhere Oberfläche besitzen als die Kultursamen, kann diese Eigenschaft zur Saatgutreinigung herangezogen werden. Dies kann durch die unterschiedliche Gleitfähigkeit auf einem Schrägband oder einer Wendel (Anwendung der schiefen Ebene) erfolgen, oder man benutzt die unterschiedliche Fähigkeit, eisenhaltiges Pulver auf der Oberfläche zurückzuhalten.

Die letztgenannte Eigenschaft wird bei der elektromagnetischen Saatgutreinigungsmaschine ausgenutzt. In dieser Maschine wird das zu reinigende Saatgut mit einer geringen Menge feuchten Eisenpulvers gemischt. Dieses haftet auf den rauheren Oberflächen der Unkrautsamen und der anderen Beimengungen, während die Kultursamen kein Pulver annehmen und deshalb von einem Magneten auch nicht angezogen werden (Abb. 96).

Im Inneren einer langsam rotierenden Messingtrommel ist ein feststehender Elektromagnet angebracht. Wenn das präparierte Reinigungsgut auf die Trommel fällt, rutscht das unbehaftete Saatgut (Klee, Flachs, Luzerne usw.) über diese hinweg und gelangt in den Saatgutbehälter. Dagegen wird das mit Eisenpulver behaftete Reinigungsgut an der Trommel festgehalten, solange es sich am Elektromagneten vorbeibewegt. Wenn der Magnet passiert ist, fällt es in den Behälter für Unkrautsamen.

Bei der Viehfütterung werden kleine, für die Tiere gefährliche Eisenteile ebenfalls durch Magnete aus dem Futter entfernt. Diese Elektromagnete können in den Zuführungseinrichtungen für das Futter angebracht werden.

3. Transportwesen. Auch die *Eisenbahn* verbraucht für das Signal- und Nachrichtenwesen sowie besonders für den elektrischen Zugantrieb viel

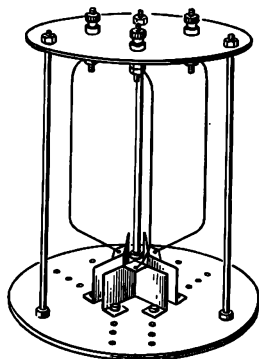


Abb. 95. Elektrodenwassererhitzer

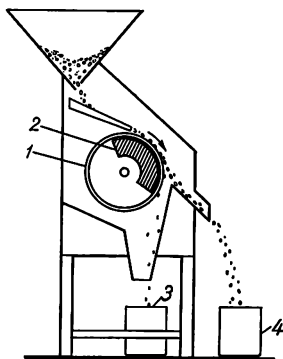


Abb. 96. Schematische Darstellung einer Saatgutreinigungsmaschine

1 Trommel, 2 Elektromagnet, 3 Behälter für Unkrautsamen, 4 Behälter für Saatgut

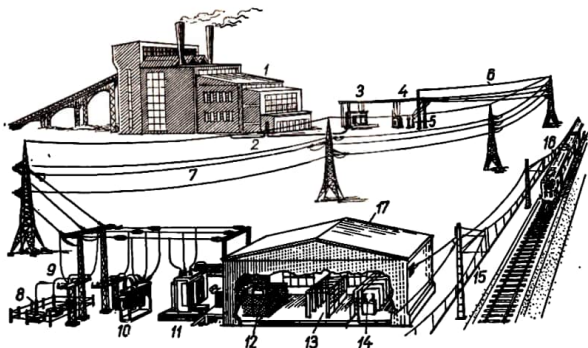


Abb. 97. Stromversorgung einer elektrischen Bahnanlage

1 Elektrizitätswerk, 2 Kabel, 3 Hochspannungstransformator, 4 Leistungsschalter (Ölschalter), 5 Trennschalter, 6 Blitzschutzzeile, 7 Übertragungsleitung, 8 Überspannungsableiter, 9 Trennschalter, 10 Leistungsschalter (Ölschalter), 11 Transformator, 12 Quecksilbergleichrichter, 13 Schalttafel, 14 automatischer Schnellschalter, 15 Fahrdrabt, 16 Elektrolok, 17 Umspannwerk (Unterwerk)

elektrische Energie. Die Elektrolokomotiven besitzen gegenüber den Dampflokomotiven unbestreitbare Vorzüge (Abb. 97). Sie können vor allen Dingen Schwerlastzüge mit größeren Geschwindigkeiten ziehen, was die Transportkapazität einer Strecke um das 1,5- bis 2fache steigert. Eine Elektrolok der Serie WL-22^m ersetzt 2,5 bis 3 Dampflokomotiven der Serie E und zwei der Serie FD.

Die Dampflokomotiven verschlingen wegen ihres geringen Wirkungsgrads fast 25% der gesamten Steinkohlenförderung der Sowjetunion. Durch den Einsatz der Elektroloks kann bei einer Stromlieferung aus Wärmekraftwerken 50% bis 60% kostbarer Brennstoff eingespart werden, während bei einer Versorgung aus Wasserkraftwerken überhaupt keine Steinkohle benötigt wird. Elektroloks brauchen weder Wasser noch Brennstoffe mitzuführen und sind einfacher in ihrer Bedienung.

Die Elektrifizierung der Eisenbahnlinien senkt die Betriebskosten wesentlich und erlaubt eine Herabsetzung des Bedienungspersonals um 25% bis 30%.

Das ZK der KPdSU billigte den Plan, der die Maßnahmen für die Elektrifizierung der Eisenbahnlinien in den nächsten 15 Jahren enthält. Während dieser Zeitspanne werden 40000 km Eisenbahnstrecke elektrifiziert. Von 1956 bis 1960 soll insgesamt eine Strecke von 8100 km elektrifiziert werden; dies ist 3,6mal mehr als im fünften Fünfjahrplan.

Während bisher nur einzelne Streckenabschnitte elektrisch befahren wurden, sollen jetzt lange Hauptstrecken folgen, wie Moskau — Kuibyschew.

schew—Tscheljabinsk—Omsk—Nowosibirsk—Irkutsk, Moskau—Charkow—Donbaß, Inskaja—Promyschlennaja—Belowo, Jasinowataja—Pjatischatki und Beloretschenskaja—Sotschi—Suchumi.

Ende 1960 wird das elektrische Eisenbahnnetz 13400 km umfassen. Es erreicht damit die Gesamtausdehnung der elektrischen Eisenbahnnetze von Italien, Frankreich, England und den Niederlanden oder den dreifachen Umfang des Netzes der USA. Hierdurch werden 15,6 Millionen t Steinkohle pro Jahr eingespart.

Ende 1960 wird der Verbrauch an Elektroenergie im Transportwesen im Vergleich zu 1955 um das 2,3fache steigen.

Man muß unterstreichen, daß durch die umfassende Elektrifizierung der Eisenbahnlinien gleichzeitig auch Gebiete mit Strom versorgt werden, durch die diese Linien führen, denn die örtlichen Verbraucher (Kolchosen, Sowchosen, MTS und Industriebetriebe), die beiderseits der Strecke bis zu etwa 50 km entfernt liegen, werden an die Umspannwerke mit angeschlossen.

c) Wärme-, Wasser- und Windkraftwerke

Wenn wir die wichtigsten Arten der Kraftwerke, nämlich Wärme-, Wasser- und auch Windkraftwerke, behandeln, müssen die Schüler die verschiedenen Energieumwandlungen in den Elektrizitätswerken erfassen. Sie müssen weiterhin wissen, warum die elektrische Energie den praktischen Bedürfnissen am besten gerecht wird und welche volkswirtschaftliche Bedeutung den einzelnen Kraftwerktypen zukommt.

1. Wärmekraftwerke. Unter Verwendung der Abbildung 74 können wir den Schülern die Arbeitsweise eines modernen Wärmekraftwerks erklären. In diesem wird zunächst die chemische Energie der Brennstoffe in potentielle Energie der Verbrennungsgase umgewandelt. Im Feuerraum des Kessels 3 wird Kohle, Erdöl, Erdgas, Torf oder Ölschiefer verbrannt. Die heißen Verbrennungsgase geben einen großen Teil ihrer Energie an das Wasser beziehungsweise an den Dampf im Kessel ab. Der hochgespannte Dampf entströmt dem Kessel und gelangt in die Turbine 6. Hier wird die potentielle Energie des Dampfes in kinetische Energie der Rotation umgesetzt. Diese Rotationsenergie besitzen die Laufräder der Turbine und der mit ihnen gekoppelte Läufer des Wechselstromgenerators. In den Ständerwicklungen wird schließlich der elektrische Strom induziert. Auf diese Weise haben wir verschiedene Energieumwandlungen, bevor die aus der chemischen Energie hervorgegangene elektrische Energie an die Verbraucher abgegeben werden kann.

Da die normale Frequenz des Wechselstroms 50 Hz beträgt und Turbogeneratoren eine große Drehzahl aufweisen, besitzen die Generatorläufer zwei Pole bei 3000 Umläufen in der Minute oder vier Pole bei 1500 Umläufen in der Minute. Bei Kraftwerkgeneratoren wird der Strom vom Ständer abgenommen, während der Läufer die Feldmagnete trägt. Bei

solchen Innenpolmaschinen brauchen die starken Ströme nicht von rotierenden Teilen abgenommen zu werden.

Die großen Wärmekraftwerke arbeiten besonders dann rationell, wenn sie in Gebieten liegen, in denen minderwertige Brennstoffvorkommen zur Verfügung stehen. So wird zum Beispiel in den großen Kraftwerken von Kaschira, Tscheljabinsk und Swerdlowsk Braunkohle und in denen von Schatura, Gorki und Dubrowa Torf verheizt. Bereits 1940 wurden 72% der gesamten Elektroenergie in großen Wärmekraftwerken erzeugt, die auf örtliche, minderwertige Brennstoffe zurückgreifen konnten. 1950 wurden nur 8,5% der Brennstoffe aus größeren Entfernungen herangeholt.

Bis 1960 werden leistungsfähige Elektrizitätswerke mit Aggregaten von 100 MW, 150 MW und 200 MW in der Ukrainischen SSR, im Ural, im Wolgagebiet, in der Estnischen SSR und in anderen Gebieten entstehen, in denen entsprechende Brennstofflagerstätten sind.

1957 existierten in der UdSSR neun relativ große Elektrizitätswerke mit einer jeweiligen Leistung von 400 MW bis 560 MW. Bis 1960 werden fünf neue Wärmekraftwerke mit je 600 MW und acht mit je 700 MW bis 1200 MW Leistung gebaut. Darüber hinaus wird eine Reihe bereits bestehender Kraftwerke auf eine Leistung von 600 MW bis 1100 MW erweitert.

Der Wirkungsgrad der Wärmekraftwerke wird in der UdSSR ständig verbessert und hat das höchste technische Niveau erreicht. Bereits in der Vorkriegszeit ging man in den Kesselanlagen von 15 at und 350°C auf 29 at und 400°C bis 430°C über. In den Nachkriegsjahren stellten sowjetische Betriebe Kessel her, die Dampf von 90 at und 500°C liefern. Gegenwärtig werden Anlagen gebaut, die Dampf von 130 at und 565°C verwenden. Dadurch können mehr als 30% der chemischen Energie der Brennstoffe in elektrische Energie umgewandelt werden. Turbinen mit einer Leistung von 150 MW, die mit Dampf von 170 at und 550°C beschickt werden, haben im Kraftwerk von Tscherepetsk (Moskauer Energiebezirk) bereits einen Wirkungsgrad von 0,37 erreicht. Die Turbinen für 200 MW werden mit Dampfparametern von 220 at und 600°C arbeiten und einen Wirkungsgrad von 0,40 erreichen. Damit wird von einer Dampfkraftmaschine der Wirkungsgrad des Dieselmotors überschritten, der als Wärmekraftmaschine bisher die Spitze hielt. Diese Entwicklung verringert den spezifischen Brennstoffverbrauch, was zu großen Einsparungen führt. Die folgende Tabelle verdeutlicht diese Fortschritte in den letzten Jahren.

Jahr	1940	1945	1950	1951	1952	1953	1954	1955
spezifischer Brennstoffverbrauch in $\text{g} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	597	576	542	534	522	510	497	479

2. Wasserkraftwerke. In einem Wasserkraftwerk wird die Strömungsenergie des Wassers in elektrische Energie umgewandelt. Bei einem Niederdruck-Kraftwerk wird an einem Fluß mit geringem Gefälle durch einen Staudamm ein Niveauunterschied des Wasserspiegels geschaffen (Abb. 98).

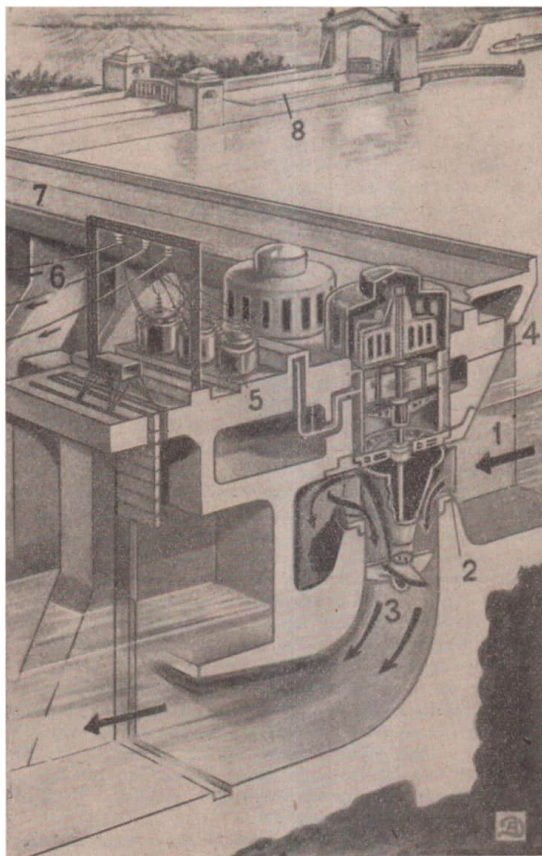


Abb. 98. Schematische Darstellung eines Wasserkraftwerks

Das Wasser strömt aus der Kammer 1 durch die Leitschaufeln 2 auf die Schaufeln des Laufrades 3. Die Turbine treibt den Hydrogenerator 4 an. Der elektrische Strom wird über den Transformator 5 in das Netz 6 gegeben. Hinter dem Transformator ist der Hochwasserüberlauf zu sehen. 7 Staudamm, 8 Kammerschleuse

Wenn das Oberwasser nach unten strömt, wandelt sich seine potentielle Energie in kinetische um, die als Rotationsenergie vom Turbinen- und Generatorläufer aufgenommen wird. Der Hydrogenerator erzeugt dabei den Drehstrom, der dem Verbraucher zugeleitet wird.

Die in einem Wasserkraftwerk gewonnene Elektroenergie müßte theoretisch dem Betrag der potentiellen Energie des Wasser äquivalent sein. Das ist natürlich nicht der Fall, da unter anderem Reibungsverluste an den rotierenden Teilen des Hydroaggregats auftreten und Reibung des Wassers an den Wänden des Zuleitungskanals vorhanden ist. Ferner besitzt das abfließende Wasser noch eine gewisse kinetische Energie, die ungenutzt bleibt. Der Gesamtwirkungsgrad der Großwasserkraftwerke beträgt deshalb durchschnittlich 0,89.

Der Anteil der Energieerzeugung durch Wasserkraftwerke nimmt in der Sowjetunion ständig zu. Während 1940 dieser Anteil 10,5% betrug, vergrößert er sich 1954 auf 14,8%; 1960 wird er 18,4% erreichen.

Wasserkraftwerke besitzen gegenüber Wärmekraftwerken eine Reihe wichtiger Vorzüge. Der Hauptvorteil besteht darin, daß sie weder Steinkohle oder Erdöl noch sonstige Brennstoffe verbrauchen und billigeren Strom liefern können. So werden allein durch das Wasserkraftwerk von Stalingrad oder Kuibyschew jährlich 10 Millionen t Kohle bester Qualität eingespart. Der von Wasserkraftwerken gelieferte Strom ist 5- bis 6mal billiger als der von Wärmekraftwerken.¹ Wasserkraftwerke lassen sich leicht automatisch steuern, wodurch sehr viel Bedienungspersonal eingespart wird. Gegenwärtig sind alle sowjetischen Wasserkraftwerke automatisiert. Sie werden von wenigen qualifizierten Arbeitern bedient.

So werden beispielsweise die Wasserturbinen des Dneprowsker Wasserkraftwerks mit einer Gesamtleistung von 650 MW und eine Reihe anderer Aggregate des Werkes von nur sechs Arbeitern pro Schicht beaufsichtigt. Etwa zwei Drittel der Wasserkraftwerke arbeiten mit Fernsteuerung. In den Wasserkraftwerken von Kuibyschew und Stalingrad werden 1600 bis 1800 Personen beschäftigt, während in Wärmekraftwerken gleicher Leistung 30000 bis 40000 Arbeitskräfte erforderlich wären.

Die Nachteile der Wasserkraftwerke bestehen darin, daß sie für ihren Aufbau große Kapitalinvestitionen und einen großen Arbeitsaufwand erfordern. Darüber hinaus schwankt ihre Energieerzeugung. Sie geht im Winter und im Sommer infolge Wassermangels zurück, so daß nicht ihre volle Leistungsfähigkeit ausgenutzt werden kann. Dieser Nachteil läßt sich im wesentlichen dadurch kompensieren, daß diese Kraftwerke mit Wärmekraftwerken im Verbundbetrieb arbeiten.

Die Ausnutzung der Wasserkräfte erfolgt in der Sowjetunion nicht durch einzelne Kraftwerke, sondern ganze Kaskaden von Staudämmen werden in einem Flußsystem errichtet. Dadurch wird nicht nur die Wasserenergie rationell ausgenutzt, sondern auch der Wasserstand der Flüsse reguliert.

¹ 1954 betrugen beispielsweise die Selbstkosten für 1 kWh bei den Wärmekraftwerken durchschnittlich 10,6 Kopeken und bei den Wasserkraftwerken 2,1 Kopeken.

Bis 1960 soll bei einer Reihe großer Flüsse die Nutzung der Wasserkräfte abgeschlossen sein. 1957 lieferten bereits die Wolga-Kraftwerke von Iwanowo, Uglitsch, Stscherbakow, Gorki und Kuibyschew Strom. Nach Fertigstellung der Wasserkraftwerke von Tscheboksary, Saratow und Stalingrad wird praktisch die gesamte Strömungsenergie der Wolga bis Stalingrad genutzt.

Während des Sommers ist die Wolga nur schwer schiffbar, da der Wasserspiegel des Flusses bedeutend absinkt. Nach Errichtung aller Wolgawasserkraftwerke kann eine mittlere Flußtiefe von 3 m aufrecht erhalten werden. Am Dnepr arbeiten die Wasserkraftwerke von Dneprowsk und von Kachowka. Mit der Fertigstellung der Wasserkraftwerke von Kremmentschug, Dneprodershinsk und Kanewsk wird der Dnepr ebenfalls wie die Wolga in eine gigantische Wassertreppe von Kiew bis zum Meer umgewandelt, so daß er nicht nur der Erzeugung elektrischer Energie dient, sondern auch zu einer wasserreichen Schifffahrtslinie wird. Wenn die Wasserkraftwerke von Wotkinsk und Nishne-Kama errichtet sind, wird der energiereichste Abschnitt der Kama ausgenutzt.

3. Windkraftwerke. In einem Windkraftwerk wandelt sich die kinetische Energie des Windes in Rotationsenergie des Windrads und des mit ihm gekoppelten Generatorläufers um. Im Generator wird diese Energie in Elektroenergie umgewandelt und an die Verbraucher geliefert. In der Abbildung 99 ist eine Windkraftanlage schematisch dargestellt.

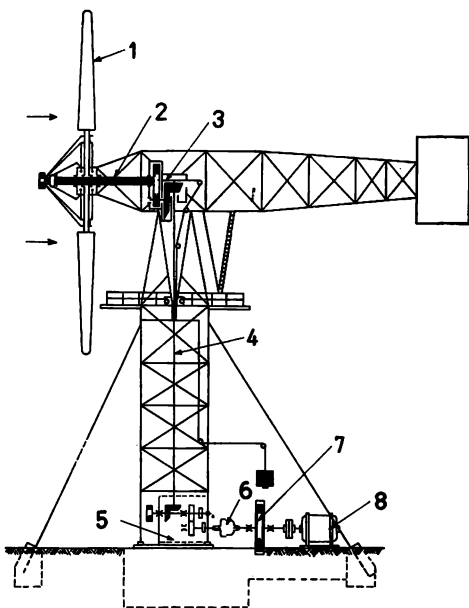


Abb. 99. Windkraftanlage

1 Windrad, 2 Welle des Windrads, 3 oberes Zahnradgetriebe, 4 vertikale Welle, 5 unteres Zahnradgetriebe, 6 Generatorwelle, 7 Schwungrad, 8 Generator

Das Windrad 1 treibt eine horizontale Welle 2 mit einer Drehzahl von 40 min^{-1} an. Das obere Zahnradgetriebe 3 besitzt ein Übersetzungsverhältnis von 1 : 9, so daß sich die Drehzahl der vertikalen Welle 4 auf 360 min^{-1} erhöht. Da das untere Zahnradgetriebe 5 noch einmal die Drehzahl steigert, kann die Generatorwelle 6 auf 1000 bis 1500 Umdrehungen je Minute kommen. Auf der Generatorwelle 6 ist das Schwungrad 7 mit einem Gewicht von 2,5 Mp befestigt, das die Drehzahl des Generators bei schwankender Windgeschwindigkeit ausgleicht.

Die Stromversorgung durch Windkraftwerke wird sehr durch die veränderlichen Windgeschwindigkeiten erschwert. Diese Kraftwerke arbeiten selbständig oder in Verbindung mit Wärmekraftwerken. Bei Windstille werden die Verbraucher mit Strom aus Akkumulatoren versorgt, die vom Windkraftwerk selbst oder von einem Wärmekraftwerk geladen wurden.

d) Elektrische Energieversorgung

Bei der Behandlung dieses Stoffabschnitts müssen die Schüler zunächst den wichtigsten Vorzug der elektrischen Energie kennenlernen. Dieser besteht darin, daß riesige Energiemengen über große Entfernungen übertragen werden können. Mechanische Energie läßt sich mit Hilfe von Übertragungsmechanismen — Riemen-, Reibrad- oder Zahnradtrieben — nur über sehr kleine Entfernungen weiterleiten, zum Beispiel innerhalb eines Betriebes oder einer Maschine. Die wirtschaftliche Fortleitung der Wärmeenergie mittels Dampf oder heißem Wasser ist ebenfalls begrenzt auf Entfernungen von höchstens 7 km. Für Übertragungen über große Entfernungen ist allein die elektrische Energie geeignet, da hierbei sehr geringe Verluste auftreten. Beispielsweise liegt der Wirkungsgrad der 900 km langen Höchstspannungsleitung zwischen Kuibyschew und Moskau bei 0,90 bis 0,92. Vor allen Dingen müssen die Schüler über die Höchstspannungs-Gleichstrom-Übertragung und den elektrischen Verbundbetrieb informiert werden.

In der Sowjetunion sind Höchstspannungsleitungen für Dreiphasenwechselstrom mit Spannungen von 35 kV, 110 kV, 220 kV und 400 kV ausgelegt. Die folgende Aufstellung gibt Richtwerte für den Einsatz dieser Höchstspannungsleitungen.

Spannung kV	Übertragene Leistung MW	Entfernung km
35	10 bis 20	20 bis 50
110	20 bis 100	60 bis 150
220	50 bis 100	100 bis 300
400	über 1000	um 1000

Wendet man noch höhere Spannungen an (450 kV bis 600 kV), so kann man Wechselstrom über Strecken von 1200 km bis 1500 km fortleiten. Bei diesen großen Entfernungen ist es jedoch zweckmäßiger, die Gleichstromübertragung anzuwenden.

Bei der Energieübertragung durch Wechselstrom ist es erforderlich, daß alle Generatoren des Verbundnetzes Strom von gleicher Frequenz erzeugen. Die zusammengeschalteten Spannungen müssen gleich groß und in gleicher Phasenlage sein. Nur unter dieser Bedingung ist die Elektrizitätsübertragung stabil. Diese Synchronisierung und die damit verbundene Stabilität der Übertragung wird mit wachsender Länge der Höchstspannungsleitung sehr schwierig, da hierfür bei Erhöhung der zu übertragenden Leistung komplizierte und teure Anlagen erforderlich sind. Bei der Gleichstromübertragung entfallen die Probleme der stabilen Arbeitsweise des Verbundnetzes und der Begrenzung des Durchlaßvermögens der Überlandleitungen. Hierin besteht der wichtigste Vorzug der Gleichstromübertragung. Außerdem werden bei dieser Buntmetall eingespart, da nicht drei, sondern nur zwei Leitungen erforderlich sind. Auf Grund dieser Vorteile wird für sehr große Entfernungen die Gleichstromübertragung bevorzugt (Abb. 100).

Bei der Höchstspannungsgleichstrom-Übertragung wird die von Wechselstromgeneratoren erzeugte Elektroenergie durch Transformatoren hochgespannt und Gleichrichter zugeführt. Der Gleichstrom wird von zwei Freileitungen oder Erdkabeln mit hoher Spannung zum Hauptumspannwerk geleitet. Hier stehen Wechselrichter, die den Gleichstrom in Drehstrom hoher Spannung umwandeln, der nach weiteren Umspannungen schließlich in das Niederspannungsnetz gelangt.

Die Schüler müssen aus dem Schema der Abbildung 100 entnehmen, daß der Gleichstrom ausschließlich zur *Übertragung* der Elektroenergie verwendet wird. Während die Vorzüge des Drehstroms (einfaches Umspannen, Erzeugen und Verwenden) erhalten bleiben, werden die Mängel beseitigt, die mit der Energieübertragung durch Wechselstrom über große Entfernungen zusammenhängen.

Nach einem solchen Prinzip arbeitet in der UdSSR bereits seit 1950 die Kabelgleichstromübertragung Kaschira—Moskau. Sie überträgt bei einer Spannung von 200 kV eine Leistung von 30 MW über eine Länge von 112 km. Bis 1960 soll eine Höchstspannungs-Gleichstromleitung von Stalingrad nach dem Donezbecken geführt werden. Die Gleichstromübertragung wird be-

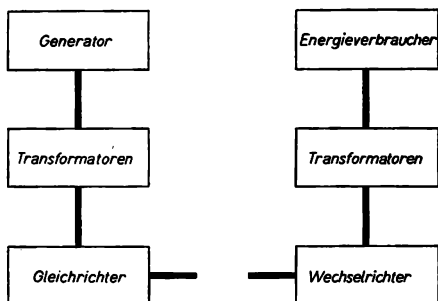


Abb. 100. Schematische Darstellung der Höchstspannungs-Gleichstromübertragung

sonders wichtig, wenn die Wasserkraftwerke am Jenissei, am Ob, an der Angara und an anderen Flüssen fertig sind. Dann wird die Übertragung einer Leistung von 3 bis 4 Millionen kW über Entfernungen von 2000 km erforderlich sein.

In diesem Zusammenhang müssen die Schüler die Vorzüge des Verbundbetriebes kennenlernen (Abb. 101). Wenn früher die einzelnen Kraftwerke bestimmte Städte oder Betriebe mit Strom versorgten, so geben sie heute ihre Energie an ein Verbundnetz ab. Bereits der GOELRO-Plan sah die Vereinigung einzelner Kraftwerke durch Verbundnetze vor. Die vollständige Elektrifizierung der Sowjetunion ist aber nur durch Verbundsysteme möglich, deren Aufbau eng mit der Steigerung der Produktivkräfte verbunden ist. So müssen immer mehr Verbundnetze zu Verbundsystemen zusammengeschlossen werden, bis eines Tages ein gewaltiges Verbundsystem die gesamte Sowjetunion umfaßt.

Bereits vor Jahren wurden drei Verbundsysteme geschaffen. So erfaßt das „Südsystem“ die Netze der Bezirke von Pridneprow und Rostow sowie des Donezbeckens und damit den gesamten Industriekomplex des Südens. Das „Zentralsystem“ schloß die Verbundnetze von Moskau, Jaroslawl, Gorki und Iwanowo und das „Uralsystem“ die von Tscheljabinsk, Swerdlowsk und Perm zusammen.

Ein Verbundnetz gewährleistet auch beim Ausfall eines Kraftwerks die ununterbrochene Versorgung der Verbraucher mit Elektroenergie und schafft Leistungsreserven. Notfalls können sich Reservekraftwerke einschalten, die nach 2 bis 3 Minuten bereits ihre volle Leistungsfähigkeit erreicht haben. Bei Verbundsystemen sind die Vorteile noch größer, da zum Beispiel die Wasserkräfte vollständig genutzt werden können. Wenn Wärme- und Wasserkraftwerke zusammenarbeiten, kann viel Brennstoff gespart werden. Wir wollen dies am Beispiel des „Südsystems“ erklären. Hier wird in der Hochwasserperiode viel elektrische Energie vom Dneprowsker Wasserkraftwerk an das Donezbecken abgegeben, so daß die dortigen Wärmekraftwerke ihre Energieerzeugung drosseln und dadurch Brennstoff einsparen können. Fällt hingegen im Winter infolge Wassermangels die Leistung des Wasserkraftwerks ab, so „hilft“ das Donezbecken dem Dneprowsker Wasserkraftwerk und stellt dem Pridneprower Industriebezirk Elektroenergie aus seinen Wärmekraftwerken zur Verfügung.

Großkraftwerke können überhaupt nur im Rahmen von Verbundsystemen arbeiten. Wenn zum Beispiel in einem Verbundnetz ein Aggregat von 100 MW, 150 MW oder gar 200 MW durch Reparatur oder Betriebsschaden ausfallen würde, wäre die normale Energieversorgung gefährdet. Dies ist aber bei größeren Verbundsystemen noch nicht der Fall. Außerdem können die Kraftwerke unabhängig von der Lage der Verbraucher bei Verbundsystemen dort aufgebaut werden, wo Brennstoffvorkommen oder Wasserkräfte zur Verfügung stehen.

Bis 1960 soll für den europäischen Teil der UdSSR das einheitliche Verbundsystem fertiggestellt sein. Der Zusammenschluß erfolgt durch 400-kV-

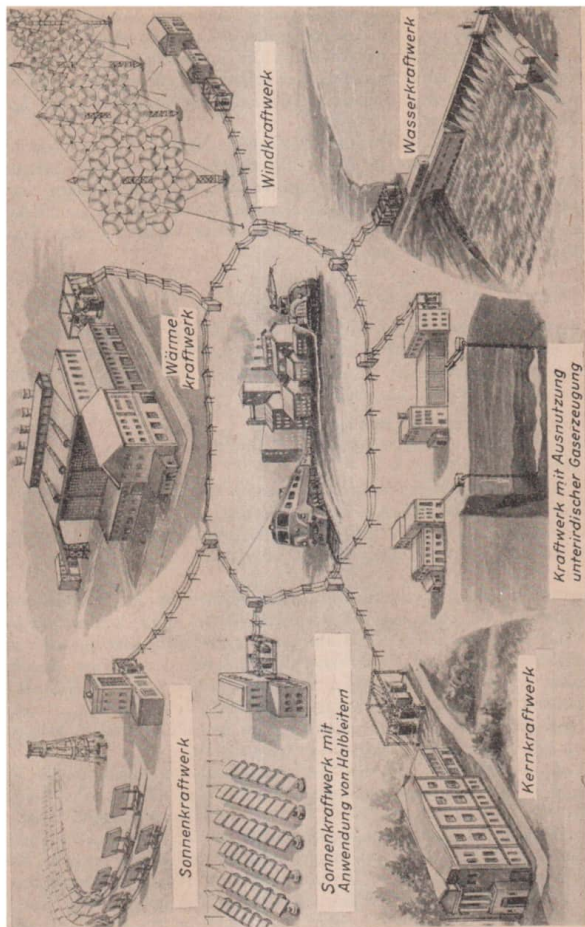


Abb. 101. Energieversorgung durch verschiedene Elektrizitätswerke

Leitungen, die die Wasserkraftwerke von Kuibyschew und Stalingrad mit dem Zentral-, dem Süd- und dem Uralsystem verbinden. Damit ist für einen großen Teil der Sowjetunion eine zuverlässige Energieversorgung gewährleistet, die zentral gesteuert werden kann. Die Kapazitäten der Wärme- und Wasserkraftwerke können zweckmäßiger ausgenutzt und notwendige Reserven bereitgestellt werden. Schließlich wird die Elektrifizierung der Landwirtschaft wesentlich vorangetrieben.

Aber auch noch andere Verbundsysteme werden bis 1960 entstehen; so in der Grusinischen SSR, in der Aserbaidshanischen SSR und in der Armenischen SSR. Die Arbeiten an einem Verbundsystem in Zentralsibirien werden in Angriff genommen und damit ein großer Schritt auf dem Wege zur Lösung der historischen Aufgabe getan, ein einheitliches Verbundsystem für die gesamte Sowjetrepublik zu schaffen.

e) 'Anwendung der Elektromotoren in der Volkswirtschaft

In der Volkswirtschaft ist der elektrische Antrieb vorherrschend, der einen großen Teil der erzeugten Elektroenergie verbraucht. Der zunehmende Einsatz von Elektromotoren beruht auf einer Reihe von Vorzügen gegenüber anderen Kraftmaschinen, nämlich:

- a) Leichte Wartung und Bedienung,
- b) zuverlässige und betriebssichere Arbeitsweise,
- c) kompakter Aufbau,
- d) hoher Wirkungsgrad (bei großen Motoren bis zu 0,98),
- e) Variationsmöglichkeiten in der Ausführung,
- f) Leistungen von einigen Dezi- bis einigen Megawatt und
- g) in weiten Grenzen veränderliche Drehzahlen.

1. Industrie. Die Anwendung der Elektroenergie in der Produktion ist ein Maßstab für den technischen Entwicklungsstand eines Landes. Das Verhältnis der Leistungen der Elektromotoren zur Gesamtleistung aller Antriebsmaschinen gibt der Elektrifizierungsgrad an, der in den einzelnen Industriezweigen unterschiedlich ist. In dieser Beziehung hat die UdSSR die USA überholt und den ersten Platz im Weltmaßstab eingenommen. In einer Reihe von Industriezweigen (Kohlenbergbau, Metallurgie und Maschinenbau) beträgt der Elektrifizierungsgrad nahezu 100%.

Die schnelle Entwicklung des Werkzeugmaschinenbaus und die Einführung der Automatisierung können nur durch den Einsatz von Elektromotoren verwirklicht werden. Auch in der Bauindustrie werden mehr als 80% der Maschinen (Kräne, Transporteinrichtungen, Bagger, Betonmischmaschinen und andere) elektrisch angetrieben. Beispielsweise entfielen beim Bau der Wasserkraftanlagen bei Zimljanskaja 133,3 MW auf Elektromotoren. Da die Gesamtleistung aller Kraftmaschinen 230 MW betrug, sind dies ungefähr 60%. Diese Zahlenangaben bestätigen die Bedeutung der elektrischen Energie für die Mechanisierung der Arbeit.

In den letzten Jahren wurde die Produktion der Elektromotoren stark erhöht. So werden 1960 doppelt so viele Wechselstrommotoren wie 1955 hergestellt, und der Ausstoß von Asynchronmotoren wird in diesem Jahre 3 Millionen Stück betragen.

Der elektrische Antrieb kann je nach den Anforderungen als Einzel- oder Mehrmotorenantrieb ausgeführt werden. Schon der Einzelantrieb kann die Produktivität eines Gerätes beträchtlich erhöhen, da er zum Beispiel leicht gesteuert werden kann und die Arbeitsbedingungen verbessert werden.

Noch produktiver wird der elektrische Antrieb, wenn bei größeren Maschinen jeder Arbeitsmechanismus einen eigenen Motor besitzt. Dadurch können die einzelnen Arbeitsvorgänge automatisiert und der Arbeiter kann von physischen Anstrengungen befreit werden. Als charakteristisches Beispiel für eine Maschine mit Mehrmotorenantrieb nennen wir den Schreitbagger ESch-14/65. Der Löffel dieses Baggers besitzt ein Fassungsvermögen von 14 m^3 . Die Ausladung des Auslegers beträgt 65 m. Der Antrieb erfolgt durch 48 Elektromotoren mit einer Gesamtleistung von 7 MW. Alle Arbeitsvorgänge dieser gewaltigen Maschine erfolgen elektrisch. Der Bagger hebt in einer Stunde 1000 m^3 Erde aus und ersetzt ungefähr 10000 Arbeiter. Durch die Mechanisierung kann die körperliche Arbeit weitgehend von Maschinen übernommen werden. So waren beim Bau des Schatursker Wasserkraftwerks je Kilowatt installierter Leistung 220 Arbeitstage eines Menschen erforderlich. Beim Bau des Wasserkraftwerks von Dneprowsk waren es noch 37 Arbeitstage, während es bei Kuibyschew nur noch 9 Arbeitstage waren.

Die modernen, großen Metallbearbeitungsmaschinen sind mit zahlreichen Elektromotoren ausgerüstet, die die einzelnen Arbeitsmechanismen dieser komplizierten Maschinen gesondert antreiben.

2. Landwirtschaft. Auch in der Landwirtschaft verbrauchen die Elektromotoren die meiste elektrische Energie. Bereits 1952 waren in der Landwirtschaft mehr als 75000 Elektromotoren mit einer Gesamtleistung von 400 MW im Einsatz. Die Zahl der elektrischen Dreschmaschinen erhöhte sich von 15000 im Jahre 1949 auf 20000 im Jahre 1953. Jede für den Elektroantrieb aufgewandte Megawattstunde spart durchschnittlich 3000 Arbeitstage eines Menschen oder 100 Arbeitstage eines Pferdes ein.

Eine Reihe der Kolchosen bearbeiten schon ihre Felder mit Elektrotraktoren (Abb. 102), bei denen der sonst übliche Verbrennungsmotor durch einen 42-kW-Elektromotor ersetzt wird.

Die Stromversorgung des Traktors geschieht wie folgt: Über die Felder werden in Abständen von 1,5 km parallellaufende Hochspannungsleitungen für 6 kV oder 10 kV Drehstrom gespannt. An diese wird die fahrbare Umspannstation angeschlossen, die die Spannung auf 1 kV herabsetzt. Ein langes, biegsames Gummikabel (750 m bis 800 m) versorgt den elektrischen Antriebsmotor 1 des Traktors mit Strom. Fährt der Traktor auf die Umspannstation zu, wird das Kabel auf eine Trommel 3 gewickelt, die ein Hilfsmotor mit einer Leistung von etwa 3 kW antreibt. Entfernt sich der Traktor von der

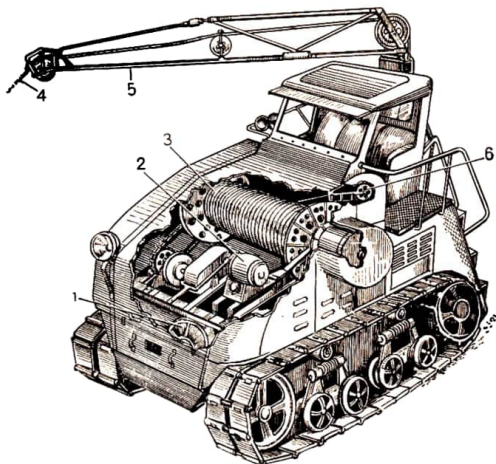


Abb. 102
Aufbau des Elektro-
traktors ET-5

- 1 Elektromotor
- 2 elektrischer Hilfsmotor
für Kabeltrommel
- 3 Kabeltrommel
- 4 Kabel
- 5 Kabelausleger,
- 6 Kabelpulvorrichtung

Umspannstation, wird das Kabel wieder von der Trommel abgespult. Ein Kabelausleger 5 führt das Kabel über das angehängte Arbeitsgerät, so daß es nicht beschädigt werden kann.

Der Elektrotraktor besitzt gegenüber dem Diesltraktor folgende Vorzüge:

- a) Seine Bedienung und Pflege ist einfacher und leichter,
- b) es werden ein Drittel der Arbeitskräfte eingespart,
- c) das Anlassen ist von der Außentemperatur unabhängig,
- d) es wird kein teurer Kraftstoff verbraucht,¹
- e) der Schmierstoffverbrauch verringert sich um 70% und
- f) der Aufwand für Hilfseinrichtungen ist geringer, da kein Kraftstoff, Wasser oder dergleichen zuzuführen ist.

Beim Pflügen mit einer Arbeitstiefe von 20 cm bis 25 cm werden je Hektar 45 kWh verbraucht. Von einem Standort der Umspannstation aus können 30 ha bis 50 ha gepflügt werden.

Die Elektrotraktoren werden vorzugsweise in Gebieten eingesetzt, in denen elektrische Energie reichlich zur Verfügung steht, also in der Nähe großer Wasserkraftwerke. Hier entstanden auch die ersten Elektrotraktoren-Stationen.

Auch eine große Anzahl anderer landwirtschaftlicher Maschinen und Geräte werden elektrisch betrieben. Bei Dreschmaschinen verwendet man im allgemeinen Kurzschlußläufermotoren mit einer Leistung von etwa 13 kW.

¹ Der Elektrotraktor spart beim Pflügen je Hektar 20 kg Kraftstoff ein. Während der Ernte beträgt die Kraftstoffeinsparung je Traktor 20 t bis 25 t.

Zum Dreschen des Getreides von 1 ha Saatfläche werden 10 kWh bis 15 kWh und zur Reinigung von einer Tonne Getreide mit der Saatgutreinigungsmaschine OS-1,0 werden 2,2 kWh verbraucht.

Im Bestreben, die anstrengende Arbeit beim Melken zu erleichtern, wurden elektrische Melkanlagen entwickelt. Ein 2,5-kW-Elektromotor betreibt eine Vakuumanlage, von der aus Vakuumleitungen in den Rinderstall führen. An diese werden die Melkmaschinen angeschlossen. Das Melken einer Kuh erfordert 60 Wh bis 80 Wh, so daß jährlich etwa 50 kWh verbraucht werden.

3. Transportwesen. Die wachsende Güterproduktion stellt an das Eisenbahn-Transportwesen erhöhte Anforderungen. Deshalb ist die Umstellung auf Elektro- und Diesellokomotiven zu beschleunigen.

Von 1956 bis 1960 werden 2000 neue Elektroloks in Dienst gestellt, von denen 400 achtschsig sein werden. Die hauptsächlich eingesetzten Typen sind die WL-23 und N-8. Die Elektroloks WL-22 und WL-23 werden von 6 und die N-8 von 8 Motoren angetrieben.

Die dieselelektrische Lokomotive ist ihrem Wesen nach eine Elektrolok mit eigener Stromerzeugung. Die Diesellok TE-2 besitzt 8 und die TE-3 sogar 12 Elektromotoren. Die Hauptstrecken werden von 2250 Dieselloks befahren. 1960 wird fast die Hälfte des Frachturnsatzes der Eisenbahn von Elektro- und Dieselloks bewältigt werden.

In steigendem Maße wird auf Hauptstrecken die neue Elektrolok NO-6 eingesetzt, die mit Einphasenwechselstrom der Frequenz von 50 Hz, aber hoher Spannung fährt. Ihre wichtigsten Teile sind der Transformator mit Ölkühlung, die Ignitrons (Quecksilberdampf-Gleichrichter) und die Gleichstrom-Fahrmotoren.

Über den Stromabnehmer gelangt der Einphasenwechselstrom mit einer Spannung von 20 kV¹ vom Fahrdrabt auf die Primärwicklung eines Transformators. Die Sekundärseite ist mit Anzapfungen versehen, die jeweils mit den Ignitrons verbunden sind. Außerdem ist eine Hilfswicklung für den sonstigen Strombedarf der Elektrolok vorhanden. Der Wechselstrom wird mit 8 Ignitrons gleichgerichtet, die jeweils für eine Belastung von 170 A berechnet sind, und den Fahrmotoren zugeführt.

Die Elektrolok NO-6 besitzt 6 Antriebsmotore mit einer Gesamtleistung von 3500 PS. Bei einer Geschwindigkeit von 40,5 km · h⁻¹ beträgt ihre Zugkraft 23,4 Mp. Die Höchstgeschwindigkeit liegt bei 75 km · h⁻¹. Mit ihrer Serienherstellung wurde begonnen.

Die Umstellung auf Einphasenwechselstrom normaler Frequenz bringt folgende Vorteile:

- a) Es besteht die Möglichkeit, die Spannung auf 20 kV bis 25 kV zu erhöhen. Dadurch kann bei gleicher Leistung der Querschnitt des Fahrdrabts $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ mal so groß gewählt und damit Kupfer eingespart werden.
- b) Der Abstand der Umspannstationen kann bei höheren Spannungen wegen des geringeren Leitungsverlustes von etwa 25 km auf 60 km erhöht werden. Dadurch verringert sich die Anzahl der für eine Strecke benötigten Stationen auf die Hälfte.
- c) Die angrenzenden Gebiete können gleichzeitig mit Strom versorgt werden, was von großem volkswirtschaftlichem Nutzen ist.

¹ In der Deutschen Demokratischen Republik wird Einphasenwechselstrom mit einer Spannung von 15 kV und einer Frequenz von 16 $\frac{2}{3}$ Hz verwendet.

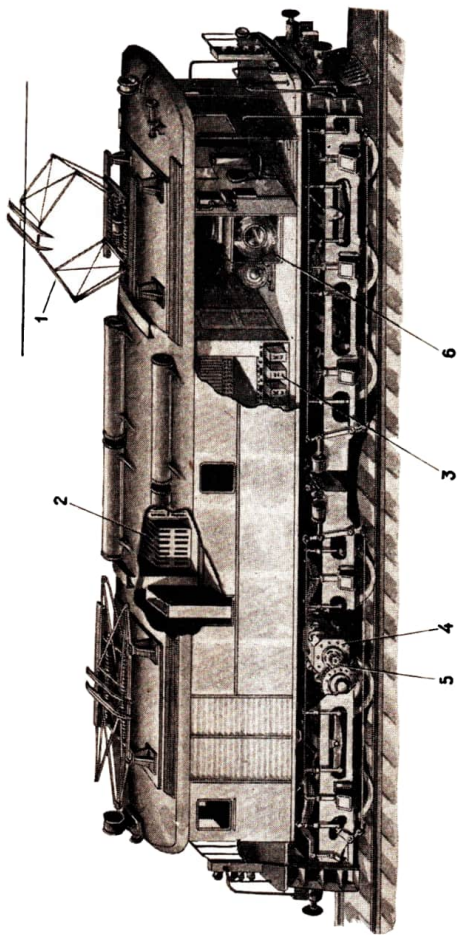


Abb. 103. Elektrolokomotive

1 Scherenstromabnehmer, 2 elektromagnetische Kontakte, 3 Anlaßwiderstände, 4 Fahrmotor, 5 Zahnradtrieb zwischen Fahrmotor und Achse, 6 Lüftermotor zur Kühlung der Fahrmotoren

In der Tabelle 5 sind einige technische Daten von Elektroloks angegeben, die für Anwendungsaufgaben bei der Behandlung des Ohmschen Gesetzes und für Leistungsberechnungen herangezogen werden können.

Tabelle 5
Technische Daten einiger Elektrolokomotiven

	Maß- einheit	N-8	WL-23	WL-22 ^m
Abgegebene Motorleistung	MW PS	4,200 5 700	3,150 4 300	2,400 3 200
Nutzleistung der Elektrolok	MW	4,100	3,075	2,340
Betriebsstromstärke	A	1 520	1 140	870
Zahl der Motoren		8	6	6
Zugkraft	Mp	35,260	62,400	23,200
Geschwindigkeit (bei der angeführten Zugkraft)	km · h ⁻¹	42,6	42,6	36
Höchstgeschwindigkeit	km · h ⁻¹	90	90—100	75
Dienstgewicht	Mp	184	138	132

Anhand der Elektrolok WL-22^m wollen wir den Elektroantrieb erklären. Die Fahrmotoren (Abb. 103) befinden sich neben den Radaachsen der Lokomotive und sind im Bild nicht zu sehen. Das von jedem Elektromotor entwickelte Drehmoment wird von zwei Zahnradpaaren auf eine Achse der Elektrolok übertragen. An den Enden der Welle jedes Fahrmotors befinden sich Ritzel mit 20 Zähnen. Diese stehen mit großen Zahnradern in Eingriff (89 Zähne), die auf den Achsen der Räderpaare sitzen.¹

Wenn wir den Schülern die Bedeutung der Elektrifizierung vor Augen führen wollen, müssen einige der beschriebenen Anwendungen im Unterricht besprochen werden. Die technischen Daten sind für Anwendungsaufgaben gedacht. Zum besseren Verständnis dieser Probleme sollte man Exkursionen durchführen und Filme zeigen, damit die Schüler die Arbeitsweise elektrischer Maschinen, Anlagen und Geräte besser erfassen.

2. Das elektromagnetische Relais und das Fotorelais

Nach dem gegenwärtigen Physiklehrplan werden in der 10. Klasse unter anderem das elektromagnetische Relais und die Fotozellen sowie ihre Anwendungen behandelt. Von den zahlreichen Anwendungen der Fotozellen in der Technik wollen wir besonders auf das Fotorelais eingehen.

Beide Relais spielen in der Meßtechnik sowie in der Steuerungs- und Regelungstechnik eine immer größere Rolle. Die komplexe Automatisierung der

¹ Abbildung 73 zeigt dies deutlicher bei einer Diesellokomotive.

Industrie ist gegenwärtig eine der Hauptaufgaben der Volkswirtschaft. Schon heute sind Wasserkraftwerke, Verarbeitungsbetriebe für Erdöl, Pumpstationen und andere Betriebe weitgehend automatisiert. Es besteht aber das Ziel, nicht nur einzelne Abteilungen und technologische Prozesse, sondern vollständige Betriebe automatisch arbeiten zu lassen. So wurde in der Sowjetunion eine automatische Fabrik zur Herstellung von Kraftfahrzeugkolben gebaut. Weiter arbeiten eine Reihe Betonfabriken und Taktstraßen im Werkzeugmaschinenbau automatisch. Allein in der Maschinenbauindustrie wurden 1953 auf 39 automatischen Taktstraßen Einzelteile für Kraftwagen, Traktoren und landwirtschaftliche Maschinen produziert.

Mit der Automatisierung eines Arbeitsvorganges oder eines ganzen Betriebes steigt die Arbeitsproduktivität auf ein Vielfaches an. Sie ermöglicht unter anderem, technologische Prozesse zu beschleunigen, die Leistungsfähigkeit der Maschinen zu erhöhen und die Genauigkeit der Materialbearbeitung zu steigern.

In der Zeit von 1956 bis 1960 ist vorgesehen, die Anzahl der voll- und halbautomatischen Taktstraßen, Abteilungen und Betriebe zu vervielfachen. Die Produktion von Anlagen und Geräten zur Automatisierung wird in diesem Zeitraum auf das 3,5fache gesteigert. Nicht weniger als 220 voll- und halbautomatische Taktstraßen und Abteilungen werden in Betrieb genommen. Für die Erzeugung von Tafelbutter wurden 1500 und für die Verarbeitung von Fischen über 600 automatische Fließbänder aufgestellt. Auch Konditor- und Backwaren werden auf über 400 voll- beziehungsweise halbautomatischen Fließbändern zubereitet.

In den automatischen Anlagen werden Thermo-, elektromagnetische, elektronische und andere Relais verwendet. Da die elektromagnetischen Relais und die Fotorelais sehr verbreitet sind, sollten wir ihren Aufbau und ihre Arbeitsweise im Physikunterricht behandeln.

Das Prinzip der Stromsteuerung läßt sich am leichtesten beim elektromagnetischen Relais erläutern, das zugleich ein Bauelement des Fotorelais ist. Betrachten wir deshalb zunächst das elektromagnetische Relais, bei dem wir gepolte und ungepolte Relais unterscheiden. Das ungepolte reagiert bei Gleichstrom unabhängig von der Stromrichtung, der durch die Wicklung des Elektromagneten fließt (Abb. 104).

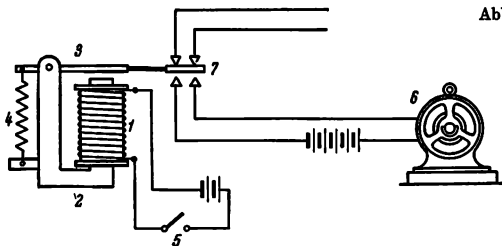


Abb. 104. Aufbau eines elektromagnetischen Relais

Über die Spule 1, die auf dem Eisenkern 2 sitzt, befindet sich der Anker 3, der durch die Feder 4 gehalten wird. Öffnet man den Schalter 5, wird der Stromkreis des Elektromotors 6 unterbrochen. Beim Schließen des Schalters 5 wird der Anker vom Elektromagneten angezogen, und der Kontakt 7 schließt den Stromkreis des Elektromotors.

In diesem Falle hat das Relais die Aufgabe eines Ein- beziehungsweise Ausschalters und kann zum Beispiel einen Hebelschalter ersetzen. Es kann aber auch als Umschalter dienen. Sein Hauptwert besteht darin, daß ein schwacher Strom einen anderen Stromkreis schalten kann, in dem ein relativ starker Strom fließt. Auf diese Weise können Elektromotore kleinerer Leistung in Betrieb gesetzt werden.

Zur Regelung der Starkstromkreise (20 A bis 600 A) werden Schütze benutzt. Dies sind ferngesteuerte Schalter ohne Verklüftung, die elektromagnetisch betätigt werden. Die modernen automatischen Maschinensysteme sind gewöhnlich mit diesen ausgestattet.

Die Abbildung 105 bringt die schematische Darstellung eines Schützes, der mit Gleich- und Wechselstrom arbeiten kann. Es besteht aus einer isolierenden Platte 2, auf der der feste Kontakt 3, der bewegliche Kontakt 4 und der Elektromagnet 5 befestigt sind. Das Schütz arbeitet mit zwei Stromkreisen, dem Steuerungs- und dem Haupt- oder Arbeitsstromkreis. Die Wicklung des Elektromagneten bildet den Steuerungsstromkreis, der in unserem Falle von einer Gleichstromquelle mit Schwachstrom gespeist wird. Dieser Strom schaltet das Schütz ein. Der Elektromagnet zieht den Anker 9 an, und die Kontakte 3 und 4 werden geschlossen. Im Arbeitsstromkreis fließt ein Strom von der Klemme 6 über die Kontakte 3 und 4 sowie die biegsame Leitung 10 zur Klemme 7. Wird der Steuerungsstromkreis 8 geöffnet, so wird der Anker von der Feder 11 vom Kern des Elektromagneten zurückgezogen, und die Kontakte werden getrennt.

Schütze werden zum Ein- und Ausschalten der Elektromotore bei Straßenbahnen, Oberleitungsbussen und Elektroloks verwendet. Ferner werden sie beim Umschalten in den Erregerkreisen leistungsfähiger Generatoren sowie bei der Automatisierung der Produktionsprozesse herangezogen. Die Schütze können sehr schnell ansprechen. Ein Umschaltvorgang dauert 0,04 s bis 0,1 s, so daß bis zu 600 und in Sonderfällen bis zu 1500 Schaltspiele in der Stunde möglich sind.

Gehen wir nunmehr zum Fotorelais mit Röhrenverstärker über, dessen Schaltbild die Abbildung 106

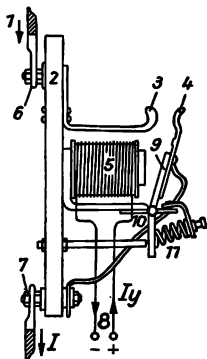


Abb. 105

Schematische Darstellung eines Schützes

- 1 Kabel, 2 isolierende Platte,
- 3 fester Kontakt,
- 4 beweglicher Kontakt,
- 5 Elektromagnet,
- 6 obere Klemme,
- 7 untere Klemme,
- 8 Steuerungsstromkreis,
- 9 Anker, 10 biegsames Kabel,
- 11 Feder

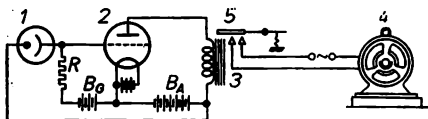


Abb. 106. Schaltbild eines Fotorelais

zeigt. Dieses kann auch als elektronisches Relais bezeichnet werden, da ein Röhrenverstärker mit einem elektromagnetischen Relais verbunden ist. Die Katode der Fotozelle 1 ist mit

dem Gitter einer Triode 2 verbunden. Die Anodenbatterie B_A liefert die Anodenspannung für die Fotozelle und die Röhre. Solange kein Licht auf die Fotozelle fällt, fließt im Gitterkreis (Gitterbatterie B_G —Katode—Gitter—Widerstand R —Gitterbatterie B_G) kein Strom, da das Gitter von der Batterie B_G negativ aufgeladen ist. Auch im Anodenkreis, in dem das elektromagnetische Relais liegt, fließt kein Strom, da dieser von der Röhre gesperrt wird. In diesem Falle wird auch der Anker 5 von der Feder noch zurückgehalten, so daß der Arbeitsstromkreis mit dem Elektromotor 4 stromlos ist.

Wenn aber auf die Katode der Fotozelle Licht fällt, treten aus ihr Elektronen aus. Es kommt dabei zu einer geringeren negativen Aufladung des Gitters und im Anodenkreis fließt ein Strom. In diesem Augenblick wird der Anker 5 vom Elektromagneten 3 angezogen und der Motor 4 eingeschaltet.

Auf diese Weise können Maschinen und Arbeitsvorgänge durch Fotozellen gesteuert sowie Warn- und Signalanlagen ausgelöst werden. Die Abbildung 107 zeigt davon einige Möglichkeiten: Berührungsschutz durch Lichtschranke 1, Anzeige von Flüssigkeitshöhen 2, Tonfilmaufnahme 3, Tonfilmwiedergabe 4 und fotoelektrische Zähleinrichtung 5.

Da die Leistung einer Fotozelle sehr gering ist, ist die Verbindung mit einer Verstärkerröhre notwendig, für die eine geringe Steuerleistung ausreicht. Die Elektronenröhren arbeiten außerdem praktisch trägheitslos, weshalb die elektronischen Relais vorzugsweise in der Steuerungs- und Regelungstechnik sowie in der Meßtechnik eingesetzt werden.¹

Im folgenden wollen wir zwei Anwendungsbeispiele des elektromagnetischen Relais ausführlicher darstellen, wovon eins auch im Unterricht behandelt werden sollte.

1. Schützensteuerung. Zum Einschalten der Drehstrom-Asynchronmotoren mit Kurzschlußläufern, die Leistungen von 2,5 kW bis 75 kW aufweisen, verwendet man vorzugsweise die Schützensteuerung. In der Abbildung 108 ist das Schaltbild einer Schützensteuerung wiedergegeben.

Die Phasen des Drehstroms sind mit R , S und T bezeichnet. Die Schützensteuerung besteht aus einem dreipoligen Kontakt 1, einer Feder 3 zum Ausschalten des Steuerkreises, einem Elektromagneten 4 zum Schließen der Schütze, einem Haltekontakt 2 und einem Thermorelais 7. Die Schaltung erfolgt durch Drücken der Schaltknöpfe (Einschaltknopf E , Ausschaltknopf A), die an einer geeigneten Stelle angebracht

¹ Entsprechende Versuche mit der Fotozelle bringen die Physik-Lehrmittelbeiblätter 135 „Umwandlung von Licht in Schall“ und 136 „Fotozelle als Steuerorgan“. Herausgeber: Deutsches Zentralinstitut für Lehrmittel.

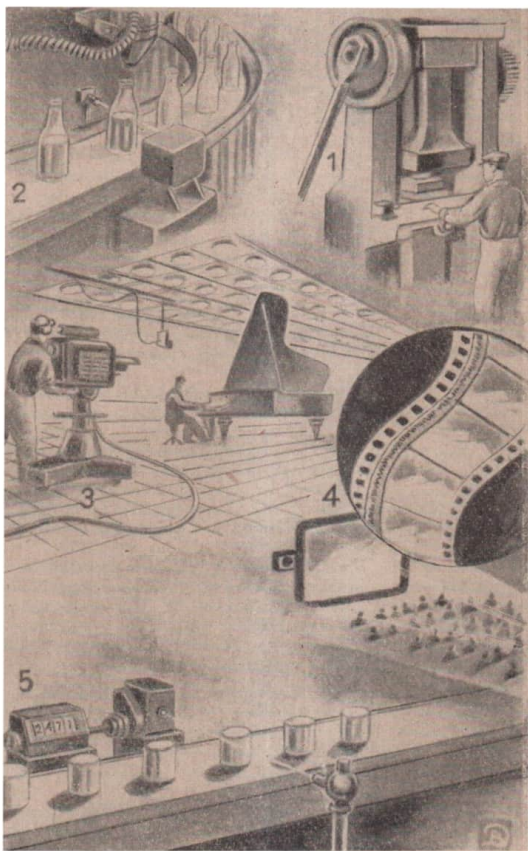


Abb. 107. Anwendung der Fotozelle in der Technik

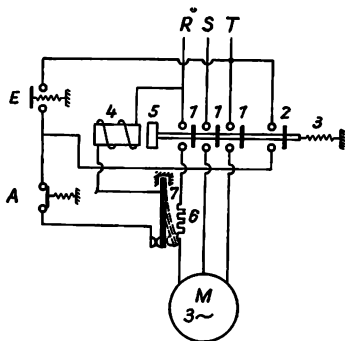


Abb. 108. Anwendung der Schützensteuerung beim Drehstrom-Asynchronmotor mit Kurzschlußbläuer

1 dreipoliger Kontakt, 2 Haltekontakt, 3 Feder, 4 Elektromagnet, 5 Anker, 6 Heizdraht, 7 Bimetallstreifen des Thermorelais

werden können. Beide Knöpfe werden durch Federn in der gezeichneten Stellung gehalten, das heißt A geschlossen und E geöffnet.

Beim Einschalten drückt man auf den Knopf E und schließt dadurch den Steuerkreis. Der Steuerstrom fließt von der Phase R über die Spule des Elektromagneten 4 und die Kontakte des Thermorelais 7 sowie des Ausschaltknopfes A zur Phase T. Der Elektromagnet zieht den Anker 5 an, und der Arbeitsstromkreis schließt sich. Der Motor beginnt zu laufen, und der Knopf E kann losgelassen werden, da der Steuerstrom jetzt über den Haltekontakt 2 fließt.

Zum Ausschalten des Motors wird der Knopf A gedrückt und damit der Steuerstromkreis unterbrochen. Die Feder 3 holt den Anker zurück und schaltet dabei den Arbeitsstromkreis aus.

Das Thermorelais bewahrt den Motor vor Überlastung. Dieses besteht aus einem Bimetallstreifen, der an einem Kontakt anliegt. Steigt im Arbeitsstromkreis der Strom übermäßig stark an, so erwärmt der Heizdraht 6 den Bimetallstreifen. Dieser krümmt sich und unterbricht dadurch den Steuerstromkreis (in Abbildung 108 gestrichelt gezeichnet). Die Feder 3 zieht den Anker 5 zurück, und der Motor wird ausgeschaltet.

Der Motor ist auch gegen Unterspannung gesichert. Beim Absinken der Spannung fließt durch die Wicklung des Elektromagneten 4 ein schwächerer Strom. Dadurch kann der Anker nicht mehr gehalten werden. Er wird von der Feder 3 zurückgezogen. Auch in diesem Falle wird der Motor automatisch abgeschaltet.

Die Schütze werden heute vielseitig angewandt. Mit ihrer Hilfe lassen sich Maschinen durch einfachen Knopfdruck steuern und automatisch sichern.

Die Schütze werden heute vielseitig angewandt. Mit ihrer Hilfe lassen sich Maschinen durch einfachen Knopfdruck steuern und automatisch sichern.

2. Automatische Blockierung eines Streckenabschnittes der Eisenbahn. Aus Gründen der Verkehrssicherheit wird bei der Eisenbahn die Strecke in Blockabschnitte eingeteilt. Jeder Blockabschnitt wird durch Signale gesichert, so daß sich nur ein Zug innerhalb eines Abschnittes aufhalten kann. Man sagt in diesem Falle, der Abschnitt ist „geblockt“. Das Blocken und das Entblocken geschieht heute sehr häufig automatisch durch Zugeinwirkung.

Die Abbildung 109 zeigt das Schema einer automatischen Blockierung bei zweigleisigem Betrieb. Jeder Blockabschnitt ist durch einen elektrisch isolierten Schienenstoß gegen den benachbarten abgegrenzt. An die Schienen ist ein elektromagnetisches Relais angeschlossen, das von dem Strom eines Akkumulators gespeist wird.

Solange sich kein Zug auf diesem Teil der Strecke befindet, ist der Steuerstromkreis vom Akkumulator über den Elektromagneten 5 des Relais und den Widerstand 3 geschlossen. Der Anker des Relais wird angezogen und schließt den Stromkreis des Frei-

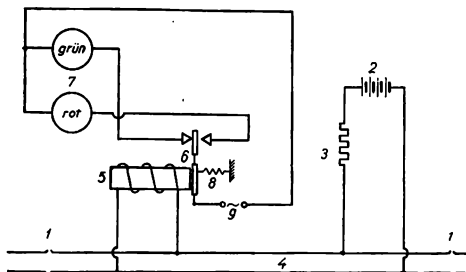


Abb. 109. Automatische Blockierung einer Eisenbahnstrecke

1 Isolierte Schienenstöße, die Blockabschnitte trennen,
2 Akkumulator, 3 Widerstand,
4 Schienen, 5 Elektromagnet,
6 Anker des Relais,
7 Signallampen, 8 Feder,
9 Stromzuführung für die Signallampen

signals (grüne Lampe). Wenn ein Zug in diesen Abschnitt einfährt, schließt er mit dem geringen Widerstand seiner Radpaare den Steuerstromkreis kurz. Dadurch wird der Elektromagnet stromlos und die Feder 8 zieht den Anker zurück. Der Stromkreis mit dem Freisignal wird geöffnet und der mit dem Stoppsignal (rote Lampe) geschlossen, so daß die Strecke blockiert ist. Sobald der Zug die Strecke verlassen hat, fließt der Strom wieder über den Elektromagneten, und es zeigt sich wieder grünes Licht. Die Signale werden auf diese Weise vom Zuge selbst gesteuert. Diese vereinfachte Darstellung geht nicht auf die Vorsignale ein, die ebenfalls unter Verwendung gelben Lichts elektromagnetisch gesteuert werden.

Die automatische Blockierung ist zuverlässig und spart menschliche Arbeitskräfte ein. Dies ist für jede Automatisierung kennzeichnend, bei der Arbeitsgänge oder ganze Betriebsabteilungen selbständig ohne die unmittelbare Beteiligung des Menschen kontrolliert und bedient werden. Es ist zweckmäßig, den Schülern die Vorteile der Automatisierung an Hand von Zahlenbeispielen klar zu machen.

So erfordert die Bearbeitung des Motorblocks eines Traktors durch Universal-Werkzeugmaschinen $3\frac{1}{2}$ Stunden. Durch automatische Taktstraßen wird diese Zeit auf $3\frac{1}{2}$ Minuten reduziert. Eine moderne Taktstraße zur Herstellung der Wellen für Elektromotore braucht je Welle eine Bearbeitungszeit von 57 Sekunden. Diese Taktstraße besteht aus 15 Werkzeugmaschinen und wird von 2 Arbeitern bedient. Bei der Fertigung dieser Wellen mit gewöhnlichen Werkzeugmaschinen benötigt ein Arbeiter für jede Welle mehr als 30 Minuten.

3. Die Ausnutzung der Kernenergie für friedliche Zwecke

In den letzten Jahrzehnten wurde die Atomphysik durch neue Entdeckungen bereichert, die schon gegenwärtig praktisch genutzt werden und für die Zukunft ungeahnte Perspektiven eröffnen. Es wurden die Umwandlung der Elemente verwirklicht, der Aufbau der Kerne untersucht und die künstliche Radioaktivität entdeckt. Zur Erzeugung schneller geladener Teilchen wurden gewaltige Beschleunigungsanlagen errichtet. Weiter konnten eine Reihe neuer Teilchen, nämlich das Neutron, das Positron sowie ver-

schiedene Mesonen, Hyperonen und Antiteilchen nachgewiesen und die gegenseitigen Umwandlungen der Elementarteilchen festgestellt werden. Die bei Kernspaltungen und Kernverschmelzungen freiwerdenden Energien wurden berechnet und praktisch ausgenutzt. Diese Aufzählung ist aber bei weitem nicht vollständig.

Die Fortschritte der Kernphysik gaben der Menschheit eine neue, unerschöpfliche Energiequelle. In der Sowjetunion wurde das erste Kernkraftwerk der Welt errichtet, das seit dem 27. Juni 1954 mit einer Leistung von 5 MW arbeitet. Gegenwärtig werden neue Kernkraftwerke gebaut, die Leistungen von mehr als 50 MW aufweisen werden. Neben der Ausnutzung der Kernenergie in Reaktoren werden in Wissenschaft und Technik in immer größerem Umfang radioaktive Isotope eingesetzt.

Der Bau von Kernreaktoren, die elektrische Energie oder radioaktive Isotope erzeugen, die Entwicklung geeigneter Schutzeinrichtungen gegen radioaktive Strahlungen, die Konstruktion von Meßgeräten und viele andere Aufgaben müssen von der Kerntechnik gelöst werden, die sich als ein neuer Zweig der Technik stürmisch entwickelt hat.

Die Direktiven des XX. Parteitagcs der KPdSU enthielten auch das Programm für die friedliche Anwendung der Kernenergie. Sie sahen den Bau von Kraftwerken mit einer Gesamtleistung von 2 bis 2,5 Millionen kW, die Entwicklung von Kernantrieben für Transportzwecke und die stärkere Anwendung der radioaktiven Isotope in der gesamten Volkswirtschaft vor. Inzwischen wurde der erste Atomeisbrecher „W. I. Lenin“ in Dienst gestellt.

Die sowjetischen Wissenschaftler und Ingenieure haben einen bedeutenden Beitrag bei der Entwicklung der Kernphysik und -technik geleistet. Die Tagungen der Akademie der Wissenschaften der UdSSR und die Beiträge sowjetischer Wissenschaftler auf den beiden Internationalen Konferenzen über die friedliche Ausnutzung der Kernenergie in Genf zeugen von den gewaltigen Erfolgen bei der Anwendung neuester Erkenntnisse.

Aus den angeführten Gründen besitzt die Behandlung des Stoffgebietes „Aufbau der Atome“ allgemeinbildenden und erzieherischen Wert. Außerdem muß dieses Stoffgebiet zur polytechnischen Bildung beitragen, da die Kerntechnik in immer größerem Umfang unser Leben bestimmt.

Die Schüler werden zunächst mit den physikalischen Grundlagen vertraut gemacht, indem wir den Aufbau der Atome, die Spaltung und die Zertrümmerung des Atomkerns, die Zerfallsreihen der schweren Kerne und die künstliche Radioaktivität behandeln. Bei der Darstellung der Kettenreaktion gehen wir auf die gewaltigen Energiemengen ein, die bei Kernspaltungen frei werden, damit die Schüler die Perspektiven für eine friedliche Ausnutzung der Kernenergie erfassen können. Deshalb besprechen wir nicht nur die Kernkraftwerke, sondern gehen auch auf die Entwicklung des Kernantriebs für Land-, Wasser- und Luftfahrzeuge sowie Raumschiffe ein. Außerdem können wir auf die Anwendung der Kernenergie für Heizzwecke und andere Möglichkeiten hinweisen.

Ein weiteres Anwendungsgebiet sind die radioaktiven Isotope, die in Kernreaktoren gewonnen werden und in Wissenschaft und Technik für viele Zwecke eingesetzt werden. Die Schüler interessieren sich bestimmt für die Anwendung „markierter Atome“ in der Biologie, der Medizin, der Industrie und der Landwirtschaft. Die radioaktive Strahlung wird weiterhin zur Kontrolle bestimmter Produktionsprozesse und für die Behandlung von Krankheiten angewandt.

Für die experimentelle Behandlung der Atomphysik wurden im Auftrage des Ministeriums für Volksbildung der RSFSR von der Lehrmittelindustrie Spinthariskope und Wilsonsche Nebelkammern entwickelt. Darüber hinaus haben Lehrer und Schüler Modelle, Geräte und andere Anschauungsmittel hergestellt.

So beschrieb W. K. Ljapidewski (Moskau) eine Diffusionsnebelkammer zur Beobachtung der Bahnen ionisierender Teilchen.¹ Der Oberlehrer P. P. Orlov vom Pädagogischen Institut Stalingrad entwickelte ein Gerät zur Demonstration der Wirkungsweise eines Geigerzählers. W. J. Gawrik (Riga) benutzte das radioaktive Präparat des Spinthariskops, um die Ionisation der Luft nachzuweisen.² Unter Anleitung des Physiklehrers L. S. Dmitrijew der 588. Mittelschule in Moskau bauten Schüler das Funktionsmodell eines Bandgenerators. Das Modell eines Kernkraftwerks wurde von den Schülern der Stadt Kyschtyma (Bezirk Tscheljabinsk) hergestellt.

Wenn die Schule noch nicht über die entsprechenden Lehrmittel verfügt, muß die Veranschaulichung durch schematische Darstellungen, Tabellen, Diapositive und Filme besonders beachtet werden. Ein reiches Anschauungsmaterial bietet für dieses Thema auch die Allunions-Industrie-Ausstellung in Moskau. In dieser Ausstellung können die Schüler einen funktionstüchtigen Reaktor, Modelle von Kernkraftwerken und Teilchenbeschleunigern sowie ein Modell des Atomeisbrechers „W. I. Lenin“ sehen. Außerdem werden Anlagen und Geräte für die Anwendung radioaktiver Isotope gezeigt. Zahlreiches Bildmaterial liefert Angaben über die Eigenschaften der Atome und zur Kerntechnik.

a) Kernkraftwerke und Kernantriebe

Die Nutzung der Kernenergie ist nicht nur von wissenschaftlichem Interesse, sondern hat eine ungeheure technisch-ökonomische Bedeutung. Deshalb wurde in den letzten Jahren die Entwicklung von Kernreaktoren zur elektrischen Energieerzeugung mächtig vorangetrieben und damit ein völlig neues Gebiet der Technik erschlossen.

Die im Jahre 2000 benötigte Energiemenge wird ungefähr achtmal größer sein als die des Jahres 1952. Die bekannten Vorkommen der verschiedenen Brennstoffe werden deshalb auf der Erde in etwa 100 Jahren erschöpft sein.

¹ W. K. Ljapidewski, Diffusionsnebelkammer zur Beobachtung der Bahnen ionisierender Teilchen, *Физика в школе*, Heft 1, 1955.

² W. J. Gawrik, Anwendung des Spinthariskops zur Beobachtung der Ionisation der Luft, *Физика в школе*, Heft 3, 1955.

Dagegen sind die Energievorräte im Uran und Thorium 10- bis 20mal größer als die in der Kohle und im Erdöl.¹ Diese Angaben zeigen dem Schüler, daß die Kernbrennstoffe für die Volkswirtschaft sehr wichtig sind und damit der Energiewirtschaft neue Aufgaben gestellt werden.

Die Menschheit entdeckte mit einer neuen Energiequelle gewaltige Energievorräte. Durch die Beherrschung der Kernenergie verändern sich auch eine Reihe wesentlicher Gebiete der Technik, und es treten neue in Erscheinung. So erfordert die Gewinnung der Kernbrennstoffe neue Zweige der chemischen Industrie, die sich mit dem Anreichern und Herstellen geeigneter Verbindungen des Urans befassen. Auch das Transport- und Verkehrswesen wird sich stark verändern, wenn die Kernenergie für Antriebszwecke genutzt wird.

Im Physikunterricht wollen wir von den bekannten Reaktortypen den heterogenen Uran-Graphit-Reaktor behandeln (Abb. 110).

Er besteht aus Graphitquadrern 1, die mit Bohrungen versehen sind, in denen die Uranstäbe 2 liegen. Das Uran, aus dem diese Stäbe gefertigt sind, enthält Isotope ^{238}U und ^{235}U . Um die Spaltung von ^{235}U in zwei schwere Bruchstücke durch eine Kettenreaktion zu gewährleisten, müssen die freiwerdenden schnellen Neutronen auf thermische Geschwindigkeit abgebremst werden. Die Energie der thermischen Neutronen liegt in der Größenordnung der kinetischen Energie der Atome eines Stoffes bei Zimmertemperatur ($E \approx 0,025 \text{ eV}$). Die Verringerung der Neutronenenergie erfolgt durch Moderatoren, die beispielsweise aus Graphit, Beryllium oder schwerem Wasser bestehen. Bei der Erklärung des Vorgangs können wir die Abbildung 111 heranziehen.

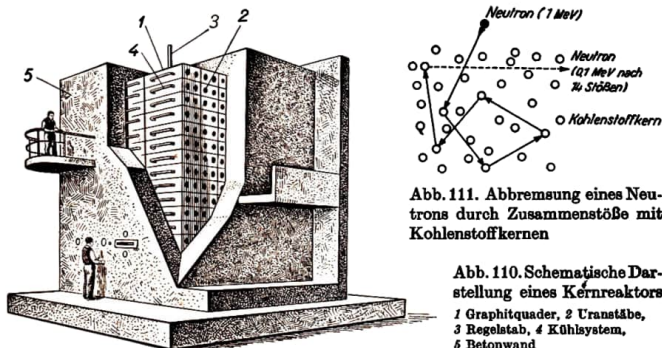


Abb. 111. Abbremsung eines Neutrons durch Zusammenstöße mit Kohlenstoffkernen

Abb. 110. Schematische Darstellung eines Kernreaktors

- 1 Graphitquader, 2 Uranstäbe,
- 3 Regelstab, 4 Kühlsystem,
- 5 Betonwand

¹ ABC der Naturwissenschaft und Technik, VEB F. A. Brockhaus Verlag, Leipzig, 1960 gibt an: „Man schätzt, daß die Energiereserve der Erde einschließlich Kohle und Öl für 1000 Jahre, die Energie aus Kernspaltung für 20 000 Jahre und die Energie aus Fusionsreaktionen für weit über 500 Mill. Jahre ausreicht.“

Im Graphitblock befinden sich die Regelstäbe 3 und die Sicherheitsstäbe. Sie bestehen aus Stoffen, die Neutronen absorbieren, wie beispielsweise Cadmium oder Borkarbid. Wenn die Regelstäbe auf eine gewisse Höhe angehoben werden, läuft die Kettenreaktion der Uranspaltung an. Durch Heben und Senken dieser Stäbe läßt sich die Reaktorleistung steuern, da hierbei die Anzahl der von den Stäben absorbierten Neutronen verändert wird. Die Sicherheitsstäbe fallen automatisch in den Reaktor und bringen ihn zum Stillstand, wenn die Kettenreaktion durch irgendeine Ursache nicht mehr gesteuert werden kann.

Die mit einer großen kinetischen Energie (160 MeV für zwei Bruchstücke) auseinanderfliegenden Spaltprodukte des Urans geben durch Zusammenstöße mit anderen Atomen ihre kinetische Energie ab, wodurch die Temperatur im Reaktor anwächst. Die Reaktoren werden deshalb mit Wasser, Gasen oder flüssigen Metallen gekühlt.

Bei der Uranspaltung werden Neutronen und γ -Strahlen emittiert, die den Graphitblock verlassen können. Als Strahlungsquelle kommt auch der Stoff in Frage, aus dem der Reaktor aufgebaut ist, da die Atome dieses Stoffes durch Neutronenabsorption selbst radioaktiv werden. Der Neutronenfluß und die γ -Strahlung sind gesundheitsschädlich. Deshalb ist der Graphitblock von einer dicken Schuttschicht umgeben, die aus Beton, Wasser, Blei und anderen Stoffen bestehen kann.

Nachdem wird das Prinzip der gesteuerten Kettenreaktion dargestellt haben, behandeln wir den Aufbau eines Kernkraftwerks anhand des ersten Kernkraftwerks der Welt, das von der Akademie der Wissenschaften der UdSSR errichtet wurde und eine Leistung von 5 MW aufweist (Abb. 112). Die Inbetriebnahme dieses

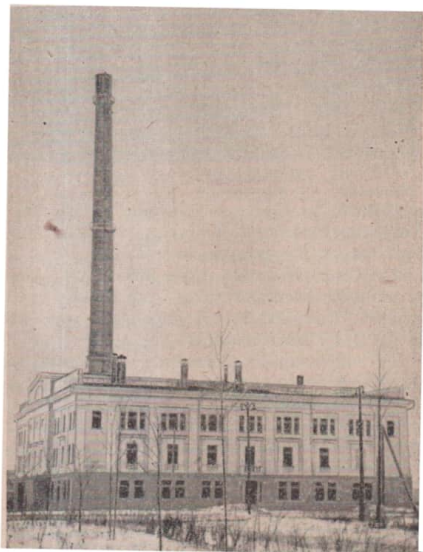


Abb. 112. Kernkraftwerk der Akademie der Wissenschaften der UdSSR

Kraftwerkes leitete das Zeitalter der friedlichen Ausnutzung der Kernenergie ein und ist einer der größten Erfolge der sowjetischen Wissenschaft und Technik. Gegenwärtig werden noch größere Kraftwerke gebaut, deren Gesamtleistung 2 bis 2,5 Millionen kW betragen wird. Damit erzeugen allein die Kernkraftwerke doppelt soviel elektrische Energie wie alle Elektrizitätswerke im zaristischen Rußland. Es sind Kraftwerke mit einer Leistung von je 400 MW bis 600 MW vorgesehen.

Bei der Beschreibung des ersten Kernkraftwerks gehen wir vom Uran-Graphit-Reaktor aus (Abb. 113).¹ Er besteht aus einem hermetisch abgeschlossenen Stahlzylinder, der den Graphitblock enthält. Der Graphitblock

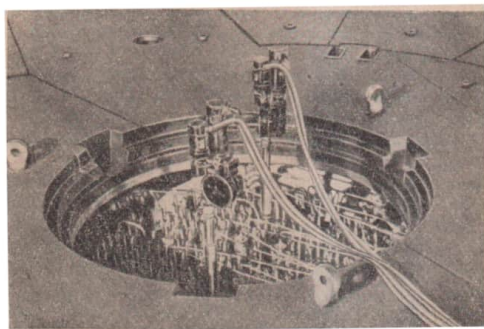


Abb. 113
Geöffneter Reaktor
des ersten
Kernkraftwerks

der hohen Temperatur verbrennen würde, sind die Hohlräume mit einem Gas gefüllt, das eine Verbrennung verhindert (Helium, Stickstoff). Der Reaktor besitzt 128 Arbeitskanäle mit einer Länge von je 7 m. Die Kanäle enthalten Uran-Hohlstäbe, deren Innen- und Außenflächen mit einem Metallüberzug versehen sind. Das Uran ist mit dem Isotop ^{235}U auf 5% angereichert. Die Uranstäbe befinden sich in Stahlrohren, durch die Wasser fließt. Das Wasser erwärmt sich und verläßt den Reaktor.

Die von einem Graphitreflektor umgebene aktive Zone des Reaktors hat die Gestalt eines 170 cm hohen Zylinders mit einem Durchmesser von 150 cm. Zur Abschirmung der Strahlung ist der Reaktor von einer 1 m dicken Wasser- und einer 3 m dicken Betonschicht umgeben. Über dem Reaktor befinden sich eine starke Graphitschicht, eine Stahlplatte und ein gußeiserner Deckel.

Der Brennstoffverbrauch dieses Kernkraftwerkes beträgt 30 g Uran pro Tag.

¹ Eine Beschreibung dieses Kraftwerkes bringt auch das Physik Lehrmittelbeiblatt 123 „Atomkraftwerk“. Herausgeber: Deutsches Zentralinstitut für Lehrmittel.

Zur Steuerung des Reaktors sind 24 Stäbe aus Borkarbid vorgesehen, nämlich 18 Kompensierungsstäbe, 4 Regelstäbe und 2 Sicherheitsstäbe. Die 18 Kompensierungsstäbe lassen sich in besonderen Kanälen verschieben. Durch ihre Neutronenabsorption kann die Reaktorleistung trotz des Verbrauchs an ^{235}U aufrecht erhalten werden. Wenn die Reaktorleistung von einem vorgeschriebenen Wert abweicht, heben oder senken sich automatisch 2 Regelstäbe. Die beiden Sicherheitsstäbe fallen in den Reaktor und bringen ihn zum Stillstand, falls die Gefahr besteht, daß er durchgeht.

Die bei der Spaltung von Urankernen freiwerdende Energie wird im Reaktor I (Abb. 114) auf destilliertes Wasser übertragen, das durch den

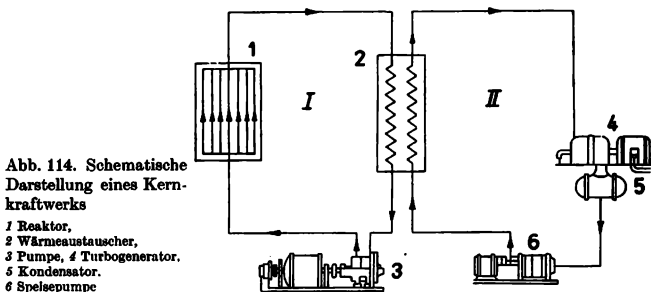


Abb. 114. Schematische Darstellung eines Kernkraftwerks

- 1 Reaktor,
- 2 Wärmeaustauscher,
- 3 Pumpe, 4 Turbogenerator,
- 5 Kondensator,
- 6 Speisepumpe

Reaktor zirkuliert und als Zwischenwärmeträger dient. Dieses Wasser verläßt den Reaktor mit einer Temperatur von 260°C bis 270°C und mit einem Druck von 100 at. Hierauf tritt es in den Wärmeaustauscher 2 ein, gibt einen Teil seiner Energie ab und verläßt den Wärmeaustauscher, der den Dampf erzeugt. Mit Hilfe von Pumpen 3 wird das Wasser durch einen Filter wiederum in den Reaktor gedrückt. Hierbei hat es eine Temperatur von 190°C und einen Druck von 100 at. Der Filter reinigt den Wärmeträger (Wasser) von festen Bestandteilen, die in den Reaktor geraten könnten. Der Kreislauf I ist auf diese Weise geschlossen.

Das Wasser des Kreislaufs II durchläuft den Erhitzer, den Verdampfer und den Dampfüberhitzer des Wärmeaustauschers 2, wandelt sich in Dampf um und gelangt mit einer Temperatur von 255°C bis 260°C und mit einem Druck von 12,5 at in die Dampfturbine 4.

Beim Durchgang durch die Turbine verliert der Dampf einen Teil seiner Energie, wandelt sich im Kondensator 5 in Wasser um und wird von der Speisepumpe 6 wiederum in den Wärmeaustauscher gedrückt. Somit ist auch der zweite Kreislauf geschlossen. Die Trennung der Kreisläufe soll verhindern, daß der durch die Turbine strömende Dampf radioaktiv ver-

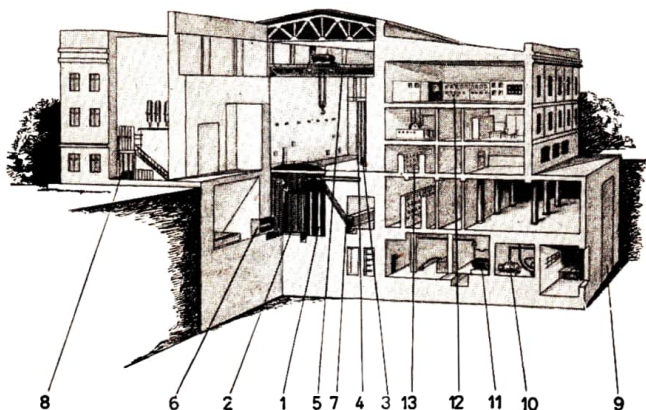


Abb. 115. Kernkraftwerk im Schnitt

1 Reaktor, 2 Arbeitskanäle, 3 Uran-Reservestäbe, 4 Aufbewahrungsbassins für verbrauchte Brennelemente, 5 Brückenkran, 6 thermische Säule für Forschungsarbeiten mit Neutronen, 7 Heißwasserableitung, 8 Volumenkompensatoren, 9 Raum für Wärmeaustauscher, 10 Pumpen des ersten Kreislaufts, 11 Elektromotor einer Pumpe, 12 Steuerzentrale, 13 Dosimeterkontrollstelle

seucht ist. Wenn das Kraftwerk mit voller Leistung arbeitet, werden in 6 Wärmeaustauschern (Dampfherzeugern) 40 t Dampf in der Stunde erzeugt (Abb. 115).

Bei diesem Kraftwerk werden $7170 \text{ kcal} \cdot \text{s}^{-1}$ im Reaktor 1 frei, was einer Leistung von 30 MW entspricht. Dagegen beträgt die vom Generator ab-

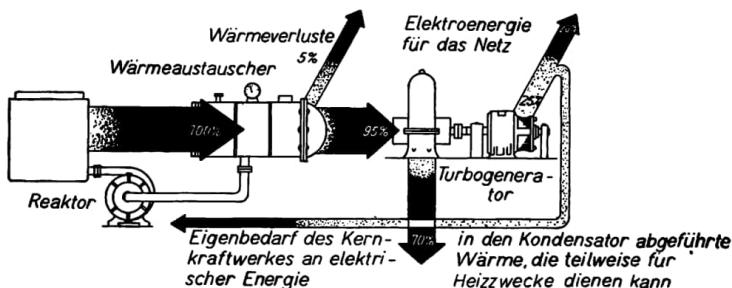


Abb. 116. Energiediagramm eines Kernkraftwerks

gegebene elektrische Leistung nur 5 MW, so daß der Wirkungsgrad etwa 0,17 beträgt. Es gibt aber verschiedene Möglichkeiten, den Wirkungsgrad eines Kernkraftwerks zu erhöhen. Die Abbildung 116 zeigt das Energie-diagramm eines Kernkraftwerks.

In der Steuerzentrale des Kraftwerks (Abb. 117) sind die Anzeigergeräte der Anlagen vereinigt, die die Wassertemperatur, den Druck und die Temperatur des Dampfes, den Wasser- und den Dampfverbrauch sowie die Leistung des Kraftwerks messen. Weiter werden die Stellung der Kompensierungsstäbe und anderes angezeigt. Selbstverständlich wurden alle Maßnahmen getroffen, um das Bedienungspersonal vor der γ -Strahlung und radioaktiv verseuchter Luft zu schützen.

Wir wollen die Schüler auch darauf hinweisen, daß bereits Versuche durchgeführt werden, die eine direkte Umwandlung der Kernenergie in elektrische Energie zum Ziele haben. Diese Untersuchungen können eines Tages reiche Früchte tragen.

Zum Abschluß dieses Themas können wir noch auf andere Möglichkeiten für die Ausnutzung der Kernenergie eingehen. In der Abbildung 118 wird die schematische Darstellung eines Strahltriebwerks wiedergegeben, das mit Kernbrennstoff arbeiten soll. Durch den Einlaufkanal 1 gelangt die Luft zum Verdichter 2, der sie in den Reaktor 3

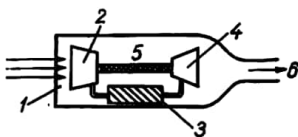


Abb. 118. Schematische Darstellung eines Strahltriebwerks mit Kernantrieb

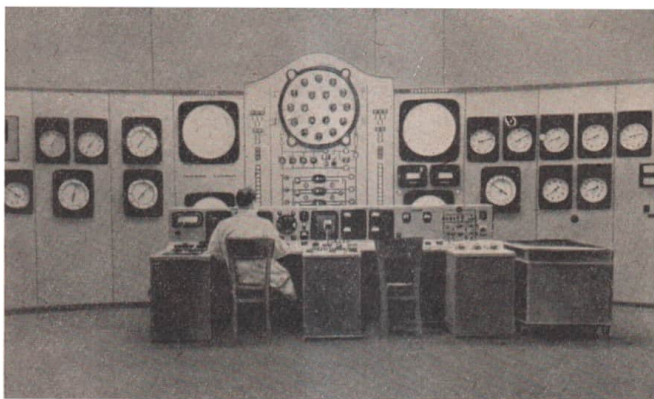


Abb. 117. Steuerzentrale eines Kernkraftwerks

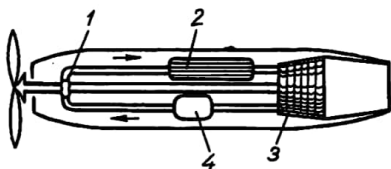


Abb. 119. Schematische Darstellung eines Propellerturbinen-
triebwerks mit Kernantrieb

1 Pumpe, 2 Reaktor, 3 Turbine,
4 Kondensator

drückt. Von der Kernenergie erhitzt, strömt sie in die Gasturbine 4 und treibt diese an. Diese Turbine treibt ihrerseits die Welle 5 und somit den Rotor des Verdichters an. Durch die Schubdüse 6 verläßt die Luft das Strahltriebwerk, wodurch ein Rückstoß entsteht. Flugzeuge, die einst mit diesem Strahltriebwerk fliegen, werden mit Überschallgeschwindigkeit Strecken ohne neue Brennstoffaufnahme zurücklegen, die mit den bisherigen Triebwerken niemals erreicht werden können.

Die Abbildung 119 zeigt die Arbeitsweise eines Propellerturbinen-
triebwerks mit Kernantrieb, wie es einmal ausgeführt werden könnte.

Auch die interplanetarischen Flüge werden einst mit Raketen erfolgen, die durch Kernenergie angetrieben werden. In einer solchen Rakete könnte

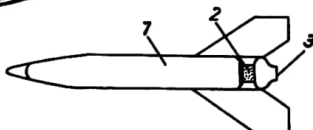


Abb. 120. Schematische Darstellung
einer Rakete mit Kernantrieb

1 Behälter mit flüssigem Wasserstoff,
2 Reaktor, 3 Düse

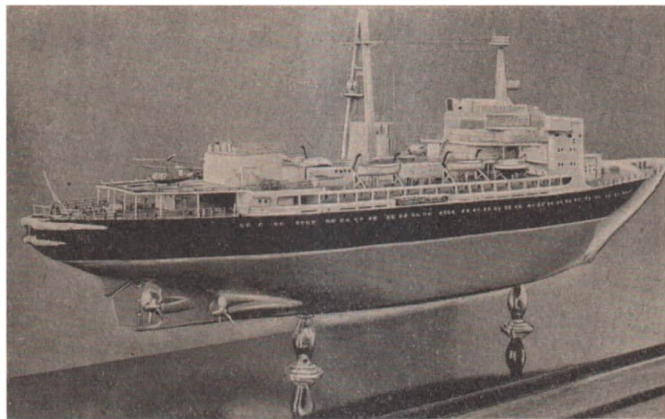


Abb. 121. Modell des Atomeisbrechers „W. I. Lenin“

zum Beispiel flüssiger Wasserstoff mitgeführt werden. Dieser strömt durch einen Reaktor, in dem er stark erwärmt wird. Mit großer Geschwindigkeit tritt dann das Gas aus der Düse aus und erzeugt den gewünschten Rückstoß (Abb. 120).

Die Sowjetunion stellte auch das erste Schiff in Dienst, das mit Kernenergie angetrieben wird und friedlichen Zwecken dient (Abb. 121). Es handelt sich um den Atomeisbrecher „W. I. Lenin“, der eine Wasserverdrängung von 16000 t besitzt. Die Antriebsmotoren erreichen eine Leistung von 44000 PS. Während die bisherigen Eisbrecher Tausende Tonnen Brennstoff mitführen müssen, benötigt dieser Eisbrecher nur 200 g Kernbrennstoff pro Tag. Er kann deshalb große Strecken ohne Brennstoffergänzung zurücklegen. Die Anlagen dieses modernen Schiffes sind weitgehend automatisiert.

Die künftige Ausnutzung der Kernenergie im Transport- und Verkehrswesen bietet auch interessante Themen für physikalisch-technische Arbeitsgemeinschaften.

b) Radioaktive Isotope in der Wissenschaft und in der Technik

Die Kernreaktoren dienen nicht nur der Energieerzeugung, sondern auch der Gewinnung radioaktiver Isotope. Diese Radioisotope werden für wissenschaftliche Untersuchungen in der Industrie, der Landwirtschaft, der Medizin, der Geologie und auf vielen anderen Gebieten herangezogen.

Wir werden zunächst die Zählrohre und Fotoemulsionen als Nachweisverfahren der Radioisotope behandeln und anschließend auf die Radioindikatoren (Leitisotope, „markierte Atome“) eingehen.

Bei vielen biologischen Vorgängen und technologischen Prozessen finden wir eine ständige Wanderung der Atome oder der Moleküle. Da hierbei eine große Anzahl gleichartiger Atome beteiligt ist, konnte man früher die einzelnen Bewegungsabläufe nicht studieren. Wenn man aber auf diese Vorgänge und Prozesse Einfluß nehmen will, muß man die zugrunde liegenden Bewegungsabläufe kennen. Hier ergeben sich ungeahnte Möglichkeiten durch die Anwendung radioaktiver Isotope, denn diese können von den stabilen Isotopen eines Elements durch ihre Strahlung leicht unterschieden werden. Deshalb werden sie in diesem Zusammenhang auch als „markierte Atome“ bezeichnet. Mit ihrer Hilfe können Diffusionsvorgänge, chemische Reaktionen, Reibungserscheinungen, Abnutzungen der Werkstoffe, Wirksamkeit der Schmierstoffe und die Qualität der Legierungen untersucht werden. Sie gestatten eine automatische Kontrolle technologischer Prozesse und erlauben neue Verfahren zum Messen und zur Fehlersuche in Werkstücken. Durch sie wurde ein tieferer Einblick in die Photosynthese der Pflanzen gewonnen. Dem Arzt helfen Radioindikatoren bei der Diagnose und der Heilbehandlung. Auch in der Geologie werden sie zur Erkundung von Lagerstätten verwandt. Diese Beispiele stellen aber nur eine geringe Auswahl dar. Täglich ergeben sich neue Anwendungsmöglichkeiten.

Im folgenden wollen wir einige Anwendungen etwas ausführlicher besprechen. Natürlich können nicht alle genannten Beispiele im Unterricht behandelt werden, da nicht so viel Zeit zur Verfügung steht. Wesentlich ist aber, daß die Schüler das Charakteristische dieser Anwendungen erfassen. Außerdem kann in außerunterrichtlichen Veranstaltungen, wie in Arbeitsgemeinschaften und bei populärwissenschaftlichen Vorträgen, auf diese Probleme eingegangen werden.

1. Anwendungen in der Technik. Die *Abnutzung der Schneidwerkzeuge* bei der Metallbearbeitung läßt sich bestimmen, wenn Radioisotope in der Schneide des Werkzeugs eingelagert sind. Dies kann geschehen, indem beim Schmelzen Radioisotope zugesetzt werden oder eine Neutronenbestrahlung erfolgt. Im letzteren Falle entstehen die Radioisotope als Folgeprodukte der Kernumwandlungen, die durch die Neutronenbestrahlung ausgelöst werden.

Zur Prüfung wird ein Span des Werkstücks genommen, der auch geringe Spuren vom Material der Schneide enthält. Mit Hilfe einer Zählleinrichtung wird die Radioaktivität einer bestimmten Stoffmenge des Spans festgestellt. Durch Vergleichen der gefundenen Meßwerte kann daraus das Schneidverfahren mit der geringsten Abnutzung gefunden werden.

Wenn Stahlbänder aus verschiedenen Stahlsorten hergestellt werden, ist es notwendig, daß man später die einzelnen *Stahlsorten unterscheiden kann*. Zu diesem Zweck werden die Stahlbänder mit dem radioaktiven Phosphorisotop ^{32}P gekennzeichnet. Hierzu wird Phosphor mit Hilfe eines Lichtbogenverfahrens auf die Oberfläche der Bänder aufgetragen, wobei die eine Elektrode aus einem Metall besteht, das mit dem Phosphorisotop angereichert ist. Dieses sendet eine β -Strahlung mit einer maximalen Energie von 1,7 MeV aus. Jede Stahlsorte erhält eine bestimmte Phosphormenge. Die auftretende Strahlung wird mit Geigerzählern gemessen, die sich auf beiden Seiten des vorbeilaufenden Stahlbandes befinden. Die radioaktive Markierung bleibt bei den verschiedenen technologischen Prozessen (wie beispielsweise beim Ausglühen) — und somit während des ganzen Produktionsablaufs — erhalten.

Radioaktive Isotope dienen auch bei der *Gamma-defektoskopie* als Strahlungsquelle. Mit diesem Verfahren werden zum Beispiel Gußteile und Schweißnähte auf Fehler untersucht. Bei dieser zerstörungsfreien Werkstoffprüfung wird das Material von γ -Strahlen durchsetzt, die ein radioaktives Präparat (^{60}Co , ^{137}Cs , ^{192}Ir) aussendet (Abb. 122). Auf der anderen Seite des Werkstücks befindet sich ein Zähl-

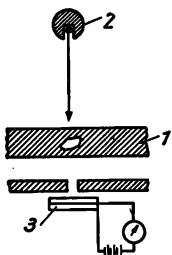


Abb. 122
Schematische Darstellung der Gamma-defektoskopie
1 Werkstück, 2 Präparat, 3 Zählrohr

gerät oder eine Filmkassette. Da die γ -Strahlung durch Risse, Lunker und Gasblasen weniger geschwächt wird als durch den Werkstoff selbst, kann bei stärkerer Intensität der Strahlung an bestimmten Stellen auf Fehler geschlossen werden.

Wenn bei der Untersuchung von Schweißnähten Filme benutzt werden, zeigen sich nach der Entwicklung Fehler durch eine stärkere Schwärzung der Fotoemulsion, da diese Stellen mehr belichtet wurden.

Die Gammadefektoskopie ermöglicht eine zerstörungsfreie Werkstoffprüfung ohne das teure Radium oder kostspielige Röntgenanlagen.

Im Kupolofen kann die *Höhe des geschmolzenen Gußeisens* ebenfalls mit γ -Strahlung gemessen werden. Zu diesem Zweck befindet sich am Kupolofen 3 ein Behälter 1 mit radioaktivem Kobalt (^{60}Co) und ein Zählrohr 2, die sich beide senkrecht verschieben lassen (Abbildung 123). Da das eingebrachte Schmelzgut 4 die γ -Strahlung weniger schwächt als das flüssige Gußeisen 5, kann das Zählrohr, das mit einem Verstärker und einem Meßgerät verbunden ist, den Flüssigkeitsspiegel der Schmelze anzeigen.

Abb. 123
Bestimmung
der Höhe des
flüssigen
Gußeisens im
Kupolofen mit
 γ -Strahlung

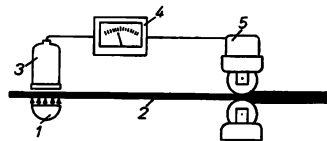
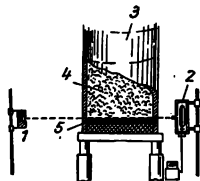


Abb. 124¹
Anlage zur automatischen Kontrolle der
Dicke eines vorbeilaufenden Bandes

Das Prinzip der *Dickenkontrolle* bei Metallfolien während ihrer Herstellung kann anhand der in der Abbildung 124 gezeigten schematischen Darstellung erklärt werden. Das Präparat 1 sendet eine Strahlung aus, die von dem vorbeilaufenden Band teilweise absorbiert wird und auf das Zählrohr 3 fällt, das mit der Apparatur 4 vereinigt ist. Ändert sich die Dicke des Bandes, so verändert sich auch die Intensität der durchtretenden Strahlung, was vom Zählrohr nachgewiesen wird. Das Zählrohr kann dann eine automatische Anlage in Gang setzen, die den erforderlichen Abstand der Walzen 5 wiederherstellt. In der Sowjetunion arbeiten diese Anlagen für Dicken bis 10 mm.

2. Anwendungen in der Landwirtschaft. Für die *Düngung* mit Superphosphat ist es wichtig zu wissen, wie tief das Düngemittel in den Boden eingebracht werden muß. Um dies festzustellen, benutzt man Superphos-

¹ Die Abbildung 124 wurde nach dem „ABC Naturwissenschaft und Technik“, VEB F. A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1960, S. 933, gezeichnet.

phat, das radioaktive Phosphorisotope ^{32}P enthält. Diese Isotope senden beim Zerfall β -Strahlen aus. Wenn dieses Düngemittel in verschiedene Bodentiefen eingebracht wird, kann die Radioaktivität der Pflanzen systematisch mit Strahlungsmessern festgestellt werden. Die Meßergebnisse lassen dann die entsprechenden Rückschlüsse zu.

Mit Radioindikatoren konnte man auch nachweisen, daß die Pflanze bei der *Fotosynthese* Kohlenstoff nicht nur mit den Blättern aus der Luft, sondern auch mit den Wurzeln aus dem Boden entnimmt.

Für diesen Versuch wurde eine Lösung hergestellt, die außer anderen Mineralsalzen auch Na_2CO_3 mit dem radioaktiven Kohlenstoffisotop ^{14}C enthielt. Die Pflanze wurde mit den Wurzeln in diese Lösung gestellt. Nach einer gewissen Zeit wurden die Wurzeln abgetrocknet und die Pflanze auf eine Fotoplatte gelegt. Die Entwicklung der Platte ergab eine Schwärzung. Auf diese Weise wurde geklärt, daß der von den Pflanzen aufgenommene Kohlenstoff auch über die Wurzeln in die Pflanzen gelangt. Wenn der Kohlenstoff nur über die Blätter aus der Luft aufgenommen würde, so könnte er nicht auf die Fotoplatte einwirken, da dieser Kohlenstoff nicht radioaktiv ist. Weitere Versuche zeigten, daß Kohlenstoff auch im Dunkeln in geringen Mengen aufgenommen wird, aber eine Kohlenhydratbildung nur bei Lichteinfall unter Mitwirkung des Chlorophylls erfolgt.

3. Anwendungen in der Medizin. Mit radioaktivem Jod kann die *Funktion der Schilddrüse* überprüft werden, indem die Versuchsperson eine Lösung trinkt, die diesen Radioindikator enthält. Dieses Jod gelangt in die Schilddrüse. Mit einem Strahlungsmeßgerät wird an der Schilddrüse die γ -Strahlung des radioaktiven Jods nachgewiesen. Aus der Strahlungsintensität können die maximale Jodaufnahme und Konzentrationsänderungen festgestellt werden. Diese Angaben erlauben Rückschlüsse auf die Funktion des untersuchten Organs.

Zur *Behandlung von Krebsgeschwülsten* wird gegenwärtig anstelle von Radium radioaktives Kobalt ^{60}Co angewendet. Die Geschwulst wird dazu mit der γ -Strahlung der sogenannten „Kobaltkanone“ bestrahlt. Bei einer Reihe bösartiger Geschwülste benutzt man kolloidales radioaktives Gold. Dieses Gold wird in den Organismus eingeführt, gelangt in die Geschwulst und wirkt durch seine Strahlung unmittelbar auf das krankhafte Gewebe ein.

Radioaktive Isotope werden heutzutage in großen Mengen in Reaktoren gewonnen. Sie ersetzen in manchen Fällen das Radium, dessen Vorräte begrenzt sind.

Wir wollen auch die Schüler darauf hinweisen, daß Kernenergie nicht nur bei der Spaltung schwerer Kerne, sondern auch bei der Verschmelzung leichter Kerne (Kernfusion) frei wird. Wenn diese sogenannten thermokernaren Reaktionen einmal gesteuert werden können, besitzt die Menschheit eine schier unerschöpfliche Energiequelle. In der Sowjetunion wird an diesem Problem erfolgreich gearbeitet.

Die UdSSR hat bei der Anwendung der Kernenergie große Erfolge erzielt. Sie gewährt vielen Ländern uneigennützige Hilfe auf dem Gebiet der Kernforschung. In Dubna wurde das Vereinigte Institut für Kernforschung errichtet. Hier wird die internationale Zusammenarbeit der Wissenschaftler vieler Länder verwirklicht.

Die Sowjetunion steht an der Spitze der fortschrittlichen Menschheit im Kampf für den Frieden in der ganzen Welt. Sie tritt für das Verbot der Erprobung und der Anwendung von Atom- und Wasserstoffwaffen ein und fordert die Ausnutzung der Kernenergie allein für friedliche Zwecke. In dieser Richtung liegen die aufgezählten Beispiele, wobei noch auf die Durchführung umfangreicher Sprengungen bei Erdarbeiten mit Kernenergie hingewiesen werden soll.

Wenn wir das Stoffgebiet „Aufbau der Atome“ behandelt haben, müssen die Schüler wissen, daß die Ausnutzung der Kernenergie den technischen Fortschritt begünstigt und die Arbeitsproduktivität damit gesteigert wird. Sie müssen aber auch die Bemühungen der Partei und der Regierung für die friedliche Anwendung der Kernenergie würdigen können.

III. Einige Fragen der unterrichtlichen und der außerunterrichtlichen Arbeit

1. Anwendungsaufgaben

Die methodischen Wege bei der Lösung physikalischer Aufgaben sind so bekannt, daß wir uns allgemeine Hinweise ersparen können. Inhalt und Methode müssen jetzt den polytechnischen Unterricht unterstützen. Die Anwendungsaufgaben stellen eine enge Verbindung zwischen Theorie und Praxis her. Die Schüler lernen dabei, ihre Kenntnisse praktisch anzuwenden.

Im Physikunterricht sollen die Schüler viele Aufgaben lösen. Sehr häufig sind diese Aufgaben jedoch abstrakt und kaum praxisbezogen.

Für jedes Stoffgebiet der Physik lassen sich Aufgaben mit technischem Inhalt auswählen. Hierzu müssen Zahlenangaben über verschiedene Maschinen, Geräte und technische Einrichtungen, wie Kraftwagen, Traktoren, Elektromotoren und Heizgeräte, herangezogen werden.

Als Beispiel bringen wir einige Aufgaben aus dem Stoffabschnitt „Krummlinige Bewegung — Drehbewegung“ der 9. Klasse, die sich auf die Übertragungsarten der Drehbewegung (Reibrad-, Riemen- und Zahnradtrieb) beziehen. Einige Aufgaben davon können direkt bei der Untersuchung des Übertragungsmechanismus einer Maschine, wie beispielsweise der Drehmaschine, herangezogen werden.

1. Bei einem Reibradtrieb mit einem Übersetzungsverhältnis von 5:1 hat das treibende Rad eine Drehzahl von $n_1 = 80 \text{ min}^{-1}$. Welche Kraft greift am Umfang des getriebenen Rades ($d_2 = 20 \text{ cm}$) an, wenn bei einem Wirkungsgrad der Übersetzung von 0,7 eine Leistung von 1,5 kW übertragen wird?
2. Ein Elektromotor ist durch einen Riementrieb mit einer Silohäckselmachine gekoppelt, deren Riemenscheibe einen Durchmesser von 30 cm hat. Das Übersetzungsverhältnis ist 2:1. Wie groß sind der Durchmesser der Antriebsscheibe des Motors und die Drehzahl der getriebenen Scheibe, wenn sich die Drehzahl des Motors auf 1400 min^{-1} beläuft?

Ähnliche Aufgaben können sich auf eine Dreschmaschine, eine Kartoffelquetsche, eine Hackfruchtwaschmaschine oder eine andere landwirtschaftliche Maschine beziehen.

3. Ein Riemen bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von $8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Wie groß sind die Drehzahlen der treibenden und der getriebenen Scheibe,

wenn der Durchmesser der letzteren 32 cm beträgt, und das Übersetzungsverhältnis 3:1 ist?

4. Das Schwungrad einer Dampfmaschine vom Durchmesser 1,5 m wird mit einer Drehzahl von $n_1 = 100 \text{ min}^{-1}$ getrieben. Es ist durch einen Riementrieb mit der Riemenscheibe eines elektrischen Generators verbunden.
 - a) Wie groß muß der Durchmesser der Riemenscheibe des Generators sein, wenn dessen Läufer eine Drehzahl von $n = 600 \text{ min}^{-1}$ erreichen soll?
 - b) Wie groß ist die Riemengeschwindigkeit?
 - c) Welche Kraft wirkt am Umfang des Schwungrads, wenn eine Leistung von 10 PS übertragen wird?
5. Bestimmt an eurer Nähmaschine zu Hause die Übersetzungsverhältnisse des Reibradtriebs an der Spulvorrichtung und des Riementriebs zwischen Schwung- und Handrad!
6. Welche Kraft greift am Umfang einer getriebenen Scheibe mit einem Durchmesser von 200 mm an, wenn bei einem Wirkungsgrad von 0,95 eine Leistung von 0,5 kW übertragen wird? Die Drehzahl $n_s = 180 \text{ min}^{-1}$.
7. Ein Elektromotor besitzt eine Riemenscheibe mit einem Durchmesser von 55 mm und ist durch einen Riementrieb mit einer Pumpe verbunden. Der Motor hat eine Drehzahl von $n = 1400 \text{ min}^{-1}$.
 - a) Wie groß ist die Drehzahl der Riemenscheibe der Pumpe, wenn das Übersetzungsverhältnis 4:1 beträgt?
 - b) Welche Kräfte und Drehmomente greifen an den Riemenscheiben an? Die Motorleistung beträgt 0,5 PS und der Wirkungsgrad der Übersetzung 0,95.

Wenn der Riemen- und Zahnradtrieb bekannt sind, kann ohne weiteres der Antriebsmechanismus einer Drehmaschine verstanden werden. Bei dieser befindet sich zwischen Elektromotor und Antriebswelle ein Riementrieb, während die Arbeitsspindel über ein Zahnradgetriebe im Spindelstock von der Arbeitswelle angetrieben wird.

Nach dieser Erläuterung an einem Anschauungsbild oder an der Drehmaschine selbst kann man als Beispiel folgende Aufgabe lösen:

8. Ein Elektromotor läuft mit 1400 Umdrehungen in der Minute. Das Übersetzungsverhältnis des Riementriebs ist 2,5:1.
Wir sollen die Drehzahlen der Arbeitsspindel und damit die des Werkstücks bestimmen, wenn die Übertragung durch ein Wechselgetriebe mit den Übersetzungsverhältnissen 5:7, 25:7 und 2:1 erfolgt.

Noch wertvoller sind Aufgaben, deren Lösung die Durchführung von Versuchen erfordert. Sie müssen deshalb in größerem Umfang gestellt werden. Wir führen Beispiele solcher Aufgaben an:

1. Auf experimentellem Weg sind die Kräfte zu bestimmen, die am Modell eines Windkrans angreifen, wenn das Gewicht der angehängten Last bekannt ist.

2. Leistung und Spannung eines elektrischen Kochers oder Lötkolbens sind gegeben. Daraus soll der Widerstand der Heizwendel errechnet und durch Messung mit dem Ohmmeter oder der Meßbrücke bestimmt werden.
3. Aus Aufbauteilen ist ein Gleichstrommotor zusammenzusetzen und die Leistungsaufnahme zu bestimmen.

Auch bei der Behandlung des Kraftwagens, des Traktors und des Elektromotors lassen sich Anwendungsaufgaben stellen. Der Physiklehrer M. M. Terentjew (443. Mittelschule in Moskau) stellte seinen Schülern folgende Aufgaben:

1. Die Verbrennungsgase im Zylinder eines Traktormotors stehen vor dem Ausstoßen unter einem Druck von 3,75 at. Welche Kraft wirkt auf den Kolben, wenn der Zylinderdurchmesser 10,15 cm beträgt?
2. Unter Benutzung der Angaben der vorherigen Aufgabe ist die Kraft zu berechnen, mit der der Kolben auf die Pleuelstange einwirkt, wenn der Luftdruck auf der Pleuelseite 1 at ($1 \text{ kp} \cdot \text{cm}^{-2}$) beträgt.
3. Ein Traktor zieht einen beladenen Wagen mit einer Geschwindigkeit von $4,4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. Seine Zugkraft beträgt 1000 kp. Welche Leistung entwickelt er?
4. Der Schwimmer eines Vergasers hat die Form eines Zylinders mit einem Radius von 4 cm. Wie tief taucht der Schwimmer in Petroleum ($\gamma = 0,8 \text{ p} \cdot \text{cm}^{-3}$) ein, wenn er 68 p wiegt?
5. Nach dem Einsetzen eines neuen Schwimmers in das Schwimmergehäuse stellt sich heraus, daß der Kraftstoffspiegel im Vergleich zu vorher niedriger steht. Wie ist das Gewicht des Schwimmers zu verändern?

Wir führen noch einige Anwendungsaufgaben aus verschiedenen Gebieten der Technik an:

1. Bei voller Beladung ist die Vorderachse des Personenkraftwagens „Moskwitsch“ mit 540 kp und die Hinterachse mit 615 kp belastet. Die Berührungsfläche mit dem Boden beträgt je Reifen 116 cm^2 . Berechne den Druck der Vorder- und den der Hinterräder auf den Boden!
2. Eine Rolltreppe der Moskauer Metro bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von $0,75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Wie groß ist die Vertikale geschwindigkeit der Rolltreppe, wenn diese einen Neigungswinkel von 30° aufweist?
3. Der Personenkraftwagen SIM bewältigt beim Anfahren 150 m in 13,3 s. Bestimme die mittlere Beschleunigung dieses Kraftwagens beim Anfahren!
4. Die Kurbelwelle des Personenkraftwagens SIL-110 hat bei voller Leistung eine Drehzahl von 3600 min^{-1} . Wie groß ist die Dauer eines Kolbenhubs?
5. Die Güterzug-Dampflokomotive LW besitzt bei einer Geschwindigkeit von $22 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ eine Zugkraft von 23150 kp. Wie groß ist in diesem Falle die Leistung dieser Lokomotive?

6. Berechne die Winkelgeschwindigkeit des Läufers einer leistungsfähigen Dampfturbine, deren Drehzahl $n = 3000 \text{ min}^{-1}$ beträgt!
7. Welche Bahngeschwindigkeit haben die Blattenden der Luftschaube der Windkraftanlage WE-2 bei einer Drehzahl von 600 min^{-1} ? Der Durchmesser der Luftschaube beträgt 2 m.
8. Die Dampfkraftanlage LPU-1 entwickelt eine Leistung von 40 PS, ein mit ihr gekuppelter Generator eine Leistung von 25 kW. Wie groß ist der Wirkungsgrad dieser Anlage bei der Umwandlung mechanischer Energie in elektrische?
9. Der Traktor S-80 erreicht bei einer Drehzahl der Kurbelwelle von 1000 min^{-1} seine größte Motorleistung von 93 PS. Der spezifische Kraftstoffverbrauch beläuft sich dabei auf $215 \text{ g} \cdot \text{PS}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ Diesellostoff. Berechne den Wirkungsgrad des Motors!
Der Heizwert des Diesellostoffs beträgt $10000 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Für ähnliche Aufgaben sind folgende Stoffabschnitte geeignet:

8. Klasse: Die Reibung, die Newtonschen Gesetze, die einfachen kraftumformenden Einrichtungen, die mechanische Energie, die Zusammensetzung und die Zerlegung der Kräfte.
9. Klasse: Die Drehbewegung, die Eigenschaften der Gase, die Wärme als Energieform, die Wärmekraftmaschinen.
10. Klasse: Die Gesetze des Gleich- und Wechselstromkreises.

Die Anwendungsaufgaben sind auch ein gutes Mittel, die Schüler mit den wichtigsten physikalischen Grundlagen der landwirtschaftlichen Maschinen vertraut zu machen:

1. Der Raupenschlepper KD-35 wiegt im Betriebszustand 3700 kp. Die Auflagefläche beider Raupen beträgt 6860 cm^2 . Welchen Druck übt der Traktor auf den Boden aus?
2. Ein selbstfahrender Mähdrescher bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von $8,7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ und hat eine Schnittbreite von 4 m. Welche Fläche erntet er in einer Arbeitszeit von 8 h ab?
3. Ein Mähdrescher wiegt 5100 kp. Welche Zugkraft muß ein Traktor auf dem Feld beim Ziehen dieses Mähdreschers aufbringen, wenn der Koeffizient der Rollreibung 0,15 ist?
4. Welche Arbeit verrichtet ein Heugebläse, das einen 200 kp schweren Heuhaufen 5 m hoch fördert?
5. Ein Mähdrescher mit einer Schnittbreite von 4,9 m erntet eine Fläche von 9,2 ha ab. Welche Arbeit verrichtet der Traktor, wenn seine Zugkraft 900 kp beträgt?
6. Der Traktor DT-54 entwickelt eine Leistung von 37 PS. Wieviel Mähdrescher müssen angehängt werden, damit er bei einer Geschwindigkeit von $4,65 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ voll ausgelastet wird? Je Mähdrescher ist eine Zugkraft von 900 kp notwendig.

Bei der Lösung einer Aufgabe ist die vorherige Analyse besonders wichtig, damit der physikalische und der technische Inhalt verstanden werden. Die Schüler festigen dabei aber auch ihre Rechenfertigkeiten und üben sich im Gebrauch der Tabellen. Durch das Vergleichen der Ergebnisse können sie das Ausmaß und den Charakter ihrer Fehler kritisch einschätzen lernen.

Für viele Aufgaben sind Zeichnungen und grafische Darstellungen anzufertigen, die den physikalischen und den technischen Inhalt zweckmäßig widerspiegeln müssen. Auch Abbildungen, Schaltskizzen und geometrische Modelle können zur Lösung herangezogen werden, so daß die Schüler auch in dieser Beziehung ihre Kenntnisse erweitern und ihre Fähigkeiten entwickeln können. Grafische Verfahren erleichtern vielfach die Arbeit und die Ergebnisse sind hinreichend genau.¹ Wir bringen im folgenden einige Beispiele dafür.

1. Die erforderliche Zugkraft F eines Traktors, der einen Pflug zieht, berechnet sich aus der Beziehung

$$F = w \cdot b \cdot t.$$

Hierbei ist w der spezifische Bodenwiderstand in $\text{kp} \cdot \text{cm}^{-2}$, b die Arbeitsbreite des Pfluges in cm und t die Arbeitstiefe (Furchentiefe) in cm. Wie groß ist die Arbeit des Traktors beim Pflügen von 1 ha? Die Arbeitsbreite des Pfluges beträgt 175 cm, die Furchentiefe 20 cm.

Hinweis: Zur Lösung dieser Aufgabe ist die grafische Darstellung der Abbildung 125 heranzuziehen.²

2. Luft dehne sich isotherm von 2 dm^3 auf 10 dm^3 aus. Der Anfangsdruck der Luft beträgt 8 at. Die Ausdehnungsarbeit der Luft in kpm ist grafisch zu bestimmen!
3. Luft dehne sich isotherm aus, wobei der Druck von 8 at auf 2 at fällt. Das Anfangsvolumen beträgt 16 dm^3 . Die Ausdehnungsarbeit der Luft in kpm ist grafisch zu bestimmen!
4. Die Korrekturkurve eines Thermometers ist in der Abbildung 126 dargestellt.

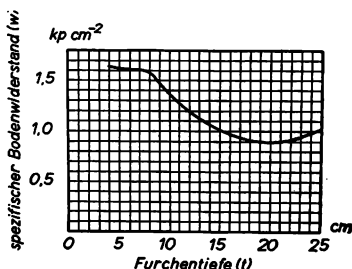


Abb. 125. Abhängigkeit des spezifischen Bodenwiderstandes w von der Furchentiefe t beim Pflügen

¹ L. I. Resnikow, Grafische Darstellungen im Physikunterricht, Verlag APN RSFSR, 1948.

² Der spezifische Bodenwiderstand hängt von der Bodenart, dem Bodenzustand, dem Gerätezustand, der Arbeitsgeschwindigkeit und der Pflugkörperform ab. Er wird durch praktische Feldversuche ermittelt, indem zwischen Traktor und Pflug ein Dynamometer befestigt wird. Der spezifische Bodenwiderstand ergibt sich dann als Quotient aus Bodenwiderstand und Arbeitsquerschnitt, wobei der letztere das Produkt von Arbeitsbreite und Arbeitstiefe ist.

a) Bei welcher Temperatur ist der Thermometerwert richtig?

b) Ist der relative Fehler nahe 0°C oder bei 100°C größer?

c) Welcher relative Meßfehler liegt vor, wenn das Thermometer 100°C anzeigt?

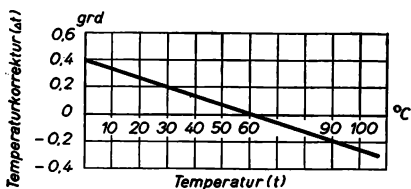


Abb. 126. Korrekturkurve eines Thermometers

5. Eine Woche lang ist täglich zur gleichen Zeit der Gasverbrauch am Zähler in der Wohnung festzustellen und aufzuschreiben.

a) Zeichne ein Diagramm, das den Gasverbrauch der Woche darstellt!

b) Bestimme anhand des Diagramms den mittleren täglichen Gasverbrauch und berechne die daraus erhaltene Wärmemenge! Der Heizwert des Gases ist mit $8000 \text{ kcal} \cdot \text{m}^{-3}$ anzusetzen.

6. In der Abbildung 127 ist das Arbeitsdiagramm einer Dampfmaschine wiedergegeben.

a) Welche Prozesse in der Maschine entsprechen den Abschnitten AB , BC , CD und DE ?

b) Welcher Punkt des Diagramms entspricht dem Absperrn des Dampfes?

c) Was bedeutet die Zahlenangabe $0,2 \text{ at}$ des Diagramms?

d) Wodurch wird im Diagramm die Arbeit des Dampfes dargestellt?

e) Welche physikalische Größe stellt die Fläche $OEDM$ dar?

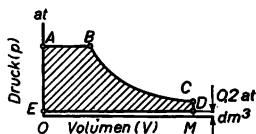


Abb. 127. Arbeitsdiagramm einer Kolbendampfmaschine

7. Die Abbildung 128 zeigt das Arbeitsdiagramm eines Verbrennungsmotors.

a) Welche im Motor stattfindenden Prozesse entsprechen den Abschnitten AB , BC , CD , DE , EB und BA ?

b) Welche Abschnitte des Diagramms entsprechen dem 1., 2., 3. und 4. Takt?

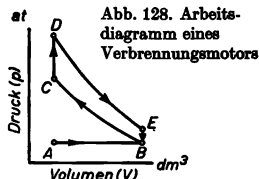


Abb. 128. Arbeitsdiagramm eines Verbrennungsmotors

8. Wir notieren eine Woche lang jeden Morgen den Stand des elektrischen Zählers in unserer Wohnung.

a) Es ist die Änderung des Zählerstandes im Laufe der Woche grafisch darzustellen!

b) Anhand des Diagramms sind der mittlere tägliche Verbrauch der elektrischen Energie und ihr Preis zu bestimmen!

9. Eine Elektronenröhre ist für eine Anodenspannung von 120 V berechnet. Welcher Widerstand muß in den Anodenkreis eingeschaltet werden (Abb. 129a), wenn die Spannung der Anodenbatterie a) 240 V, b) 200 V beträgt? Hinweis. Es ist die Röhrenkennlinie der Abbildung 129b zu benutzen.

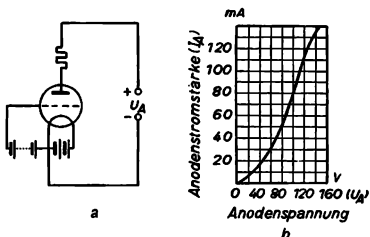


Abb. 129. Elektronenröhre
a) Schaltung b) Röhrenkennlinie

10. Die Abbildung 130 zeigt die Kennlinie eines Gleichstrom-Reihenschlußgenerators mit Eigenerrögen (Klemmenspannung des Generators in Abhängigkeit vom Belastungsstrom).

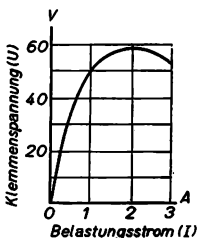


Abb. 130
Kennlinie eines Gleichstrom-Reihenschlußgenerators mit Eigenerrögen

a) Weshalb wächst die Klemmenspannung U des Generators bei zunehmender Belastung zunächst an?

b) Warum fällt bei weiterer Belastung die Klemmenspannung U wieder ab, nachdem sie einen größten Wert erreicht hatte?

c) Welche physikalische Größe wird jeweils durch die Fläche eines Kästchens in der Abbildung 130 dargestellt?

11. Die Abbildung 131 zeigt den zeitlichen Verlauf der Spannung und den der Stromstärke in einem Wechselstromkreis, der nur einen Ohmschen Widerstand besitzt.

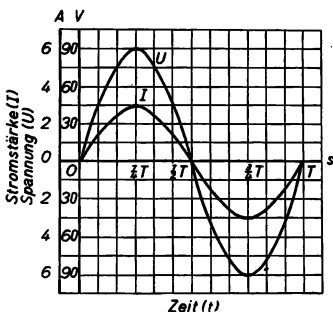


Abb. 131. Strom- und Spannungskurve bei rein Ohmschem Widerstand

a) Zeichne die Leistungskurve des Wechselstroms!

b) Vergleiche die Frequenz der Leistung mit der Frequenz der Spannung!

c) Bestimme die Arbeit des Wechselstroms in einer Stunde, indem bei der Leistungskurve die mittlere Leistung eingezeichnet wird!

12. Ein kleines Kraftwerk liefert die Elektroenergie für eine Gemeinde. Der Strombedarf ändert sich im Verlauf eines Tages, wie dies Abbildung 132 darstellt. Wir bestimmen die während eines Tages verbrauchte Energie (in kWh, kpm und kcal) und die mittlere tägliche Leistung (in kW). Die vom Kraftwerk erzeugte Spannung beträgt $U = 220 \text{ V}$.

Während einerseits im Physikunterricht die mathematischen Kenntnisse der Schüler aus der Algebra, der Geometrie und der Trigonometrie herangezogen werden, sollen andererseits auch im Mathematikunterricht Aufgaben mit physikalischem Inhalt gelöst werden. Eine solche Wechselbeziehung zwischen Physik und Mathematik trägt dazu bei, daß die Schüler über ein sicheres, anwendungsbereites Wissen verfügen.

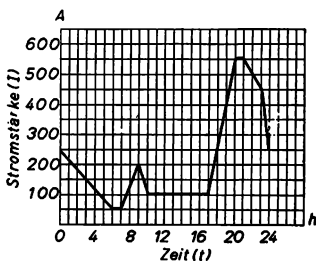


Abb. 132. Belastungskurve eines Klein-kraftwerkes

2. Schülerübungen

Die Schülerübungen machen die Schüler gründlicher als der Demonstrationsunterricht mit dem Experiment als Grundlage der physikalischen Forschung vertraut. Diese Übungen vermitteln praktische Fachkenntnisse, entwickeln Fertigkeiten und fördern die Eigentätigkeit der Schüler. Sie erhöhen das Interesse am behandelten Stoff und entfalten die Initiative und die Erfindungsgabe der Schüler. Aber auch andere erzieherisch wichtige Charaktereigenschaften, wie Beharrlichkeit bei der Erreichung eines Zieles und bei der Überwindung von Schwierigkeiten, werden ausgebildet.

Die Schülerübungen müssen bereits in der 6. Klasse beginnen und immer höhere Anforderungen an die Schüler stellen. Dabei lernen die Schüler, mit physikalischen Geräten, funktionstüchtigen Modellen und Meßgeräten umzugehen. Das Endziel ist eine organische Einheit von Theorie und Praxis. Deshalb sind die Schülerübungen für die polytechnische Erziehung besonders wertvoll.

Zur Durchführung des polytechnischen Unterrichts ist es erforderlich, in jeder Schule ein physikalisches Kabinett einzurichten. Der gegenwärtige Physiklehrplan sieht eine kleine Anzahl von verbindlichen Schülerübungen in den Klassen 6 bis 10 vor, die noch nicht in allen Schulen durchgeführt werden. Deshalb müssen die Erfahrungen erfolgreicher Lehrer auf diesem Gebiet genutzt werden, um diesen Mangel im Physikunterricht zu beseitigen.

Interessant ist der Versuch der 588. Mittelschule in Moskau (Physiklehrer L. S. Dmitrijew), den Schülerübungen Forschungscharakter zu verleihen. Im Rahmen dieses Vorhabens fertigten sich unter anderem die Schüler unter Anleitung des Lehrers selbst die Geräte an, entwarfen die Versuchsanordnungen und führten Fehlerabschätzungen durch. Auf diese Weise wurden auch die Verdampfungswärme des Wassers in der 9. und das elektrische Wärmeäquivalent in der 10. Klasse bestimmt.

Gegenwärtig werden Schülerübungen sowohl während der unterrichtlichen Behandlung eines Stoffes als auch in Form eines physikalischen Praktikums durchgeführt. Der Wert des physikalischen Praktikums besteht neben anderen Vorzügen darin, daß die Schüler hierbei kompliziertere Geräte und umfangreiche Versuchsanordnungen verwenden können. In gewissem Umfang kann auch von den Schülern die Anfertigung einzelner Teile der Versuchsanordnungen verlangt werden.

Von der Pädagogischen Akademie der Wissenschaften der RSFSR wurden unter Anleitung von A. A. Pokrowski Schülerversuche ausgearbeitet und in der 315. Moskauer Oberschule erprobt. Hier arbeiten die Schüler der 8. bis 10. Klasse mit vollständigen Schülerübungsätzen.¹

In außerschulischen Übungen ist es auch möglich, mit dem Drehstrommotor, dem Motor des Schmalfilmvorführgerätes, den Verbrennungsmotoren und anderen Maschinen praktisch zu arbeiten.

Wir weisen auch auf die praktischen Hausarbeiten der Schüler hin. Die Erfahrungen vieler Lehrer in dieser Beziehung sind sehr wertvoll und sollten beachtet werden.

Die in den Schülerübungen erworbenen Kenntnisse und Fertigkeiten sind für verschiedene Gebiete der modernen Produktion nützlich. Die Physikmethodik muß deshalb untersuchen, welche Kenntnisse und Fertigkeiten der Schüler nach Abschluß der Oberschule unbedingt besitzen muß.

3. Exkursionen

Die Exkursionen waren schon immer ein notwendiger Bestandteil des Physikunterrichts. Besondere Bedeutung erlangen sie aber bei der Verwirklichung der polytechnischen Bildung und Erziehung. Dies wird durch die Erfahrungen vieler Lehrer in den letzten Jahren bestätigt.

Die Exkursionen sollen die Schüler mit den wissenschaftlichen Grundlagen der modernen Produktion vertraut machen und eine enge Verbindung zum Physikunterricht herstellen. Die Schüler sollen dabei in produktions-technische Probleme eingeführt werden, die die weitere Entwicklung der modernen Produktion bestimmen. Dazu gehören die komplexe Mechanisierung, die Elektrifizierung, die Automatisierung in Verbindung mit der

¹ Siehe A. A. Pokrowski und B. B. Sworykin, *Physikalische Schülerübungen in gleicher Front. Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1960* (Übersetzung aus dem Russischen).

Anwendung der Meß-, Steuerungs- und Regelungstechnik, die Intensivierung der Produktionsprozesse und die Verbindung der chemischen Produktion mit anderen Zweigen der Produktion.

Betriebsbesichtigungen besitzen auch einen großen erzieherischen Wert. Indem die Schüler die Leistungen der Neuerer und der Aktivisten kennenlernen und von ihren Arbeitsmethoden und Produktionserfolgen hören, bekommen sie eine Vorstellung von der sozialistischen Arbeitsmoral. Sie werden außerdem mit den verschiedensten Berufen bekannt gemacht und bekommen einen Einblick in die Entwicklung der heimatlichen Industrie.

Die Auswahl der Besichtigungsobjekte muß die Aufgabenstellung des Physikunterrichts berücksichtigen und mit dem Lehrplan im Einklang stehen. Dabei sollen die Schüler in erster Linie die physikalischen Anwendungen im Maschinenbau, in der Energiewirtschaft, in der Metallurgie, im Bauwesen, in der Landwirtschaft und im Transport-, Post- und Fernmeldewesen kennenlernen.

Die Bedeutung der Exkursion für den Unterrichtsprozeß darf aber auch nicht überschätzt werden. Einige Lehrer glauben fälschlicherweise, daß die Behandlung einiger Stoffabschnitte nur durch Besichtigungen erfolgen könnte. Sie vergessen dabei, daß die Exkursionen einen bestimmten Platz im pädagogischen Prozeß einnehmen und sich harmonisch dem Unterricht in der Schule einfügen müssen. Sie sind nur eines der Mittel zum Erreichen des Unterrichtsziels, wie es der Lehrervortrag, das Unterrichtsgespräch, die Schülerübungen, die Lösung physikalischer Aufgaben und andere auch sind.

Bei der Auswahl der Besichtigungsobjekte wollen wir besonders die örtlichen Betriebe berücksichtigen. Hierdurch entfallen große Anmarschwege, die kleineren Betriebe sind übersichtlicher und die Schüler besitzen engere Beziehungen zur heimischen Produktion. So sind dafür Mühlen, Molkereien, Ziegeleien, Schmieden, kleine Elektrizitätswerke und so weiter geeignet.

Aber auch die Warmwasserheizung und die Elektroinstallationen in einem Gebäude, die Funkanlage der Schule, der elektrische Antrieb eines Fahrstuhls, die Pumpen der Feuerwehr und andere Einrichtungen sind bereits lohnende Objekte. Solche Besichtigungen sind leicht durchführbar und methodisch vorteilhaft.

Die Betriebsbesichtigungen brauchen nicht nur Übersichtscharakter nach der Behandlung größerer Stoffgebiete, wie beispielsweise der Mechanik oder der Elektrizitätslehre, aufzuweisen, sondern sind auch bei einzelnen Stoffabschnitten einzuplanen. Anregungen hierfür gibt die folgende Aufstellung.

Vorschläge für Besichtigungsobjekte

Klasse	Lehrplanaabschnitte	Anwendungsgebiete	Besichtigungsobjekte
6	Druck	Anwendung der hydraulischen Presse	Schmiede oder Stanzerei eines Betriebes, Reparaturbetriebe der Eisenbahn
	Auftrieb in Flüssigkeiten und Gasen	Wassertransport	Binnenhafen
	Einfache kraftumformende Einrichtungen	Anwendung einfacher kraftumformender Einrichtungen bei landwirtschaftlichen Maschinen	MTS, Sowchosen, Kolchosen
	Energie	Umwandlung von potentieller Energie in kinetische	Wassermühle
7	Wärmeausbreitung	Wärmeströmung, -leitung und -strahlung bei der Warmwasserheizung	Zentralheizung der Schule
	Zustandsänderung eines Stoffes bei Erwärmung oder Abkühlung	Schmelzen und Erstarren beim Gießen	Gießerei
	Wärmekraftmaschinen	Dampfmaschine	Dampflokomotive, Eisenbahnbetriebswerk, Lokomobile
		Dampfturbine	Wärmekraftwerk
		Verbrennungsmotor	Maschinenpark einer Sowchase oder MTS — Kraftwagen, Traktor, selbstfahrende Kombi- ne; Autoreparaturwerkstatt
	Magnetische Wirkungen des elektrischen Stromes	Gleichstrommotor im Transportwesen	Straßenbahntriebwagen, Elektroloks

Klasse	Lehrplanabschnitte	Anwendungsgebiete	Besichtigungsobjekte
8	Mechanik	Anwendung der Elektrizität in der Industrie, in der Landwirtschaft sowie im Post- und Fernmeldewesen	Industriebetrieb, Sowchose, MTS, Kolchose; Telegrafenanstalt, Telefonzentrale
		Aufbau und Wirkungsweise eines Elektrizitätswerks	Wasser-, Wind- und Wärmekraftwerk
		Anwendung der Mechanik im Bauwesen	Bauplatz
		Mechanische Metallbearbeitung	Betriebsabteilungen mit mechanischer Metallbearbeitung, Reparaturbetriebe der Eisenbahn; MTS; Lehrwerkstätten
		Anwendung der Mechanik in der Industrie	Betriebsabteilungen der Schwer- und der Leichtindustrie
9	Strömungslehre	Anwendung der Mechanik bei landwirtschaftlichen Maschinen	Maschinenpark einer MTS, Sowchose oder Kolchose; Futterabteilung einer Tierzucht-farm
		Physikalische Grundlagen des Flugwesens	Zivilflughafen
	Eigenschaften der Gase	Pneumatische Anlagen	Lüfter, Gebläse und Verdichter in Industriebetrieben, in der Landwirtschaft und auf Bau-stellen
	Eigenschaften der festen Körper	Mechanische Bearbeitung fester Werkstoffe	Mechanische Werkstätten der Betriebe; MTS; Glashütte, Ziegelei, Zementwerk, Holz-u. Plasteverarbeitungs-betriebe und andere

Klasse	Lehrplanabschnitte	Anwendungsgebiete	Besichtigungsobjekte
10		Warmformen fester Stoffe	Schmiede der Betriebe, MTS, Kolchosen und Sowchosen; Werkstätten für Warmformen in Industrie und Landwirtschaft
	Änderung des Aggregatzustands eines Stoffes	Schmelzen und Erstarren beim Gießen	Gießerei
	Wärme kraftmaschinen	Wärme kraftmaschinen in der Volkswirtschaft	Wärme kraftwerk, Dampflok, Dampf mühle, Lokomobile, Dampf kraftanlage LPU-1 Diesellok, Traktor; Autoreparaturwerkstatt; Maschinenpark der MTS, Sowchosen und Kolchosen; Ziv ilflug-hafen; Betriebe der Leichtindustrie
	Elektromagnetische Schwingungen und Wellen	Physikalische Grundlagen des Rundfunks	Dispatcher-Funkanlagen in Industrie und Landwirtschaft; Funkhaus
	Elektrische Energieversorgung	Erzeugung und Umwandlung elektrischer Energie, Fernheizung	Wärme-, Wasser- und Windkraftwerk, Umspannwerk, Heizkraftwerk, Dampf kraftanlage LPU-1
	Optik	Optische Geräte in der Meßtechnik	Laboratorien in Betrieben und Instituten
	Aufbau des Atoms	Anwendung der Kernenergie für friedliche Zwecke	Allunions-Industrie-Ausstellung

Im Laufe eines Jahres sollten in jeder Klasse zwei, in der 10. Klasse eine Exkursion im Physikunterricht durchgeführt werden. Um die Zeit rationeller auszunutzen und die Schüler nicht zu überlasten, ist es angebracht, einige Exkursionen gemeinsam mit dem Lehrer für Biologie (landwirtschaftliche Maschinen), für Chemie (Gießerei), für Elektrotechnik (Elektrizitätswerk), für Maschinenkunde (Traktor) und mit Lehrern anderer Fächer durchzuführen.

Jede Exkursion umfaßt gewöhnlich vier Abschnitte: die Vorbereitung der Schüler auf die Exkursion, die Aufgabenstellung, die Durchführung und ihre Auswertung.

Da der Lehrer die Exkursion für das laufende Schuljahr langfristig eingeplant hat, kann er im Unterricht etwas gründlicher die physikalischen Grundlagen und die Wirkungsweise einzelner Maschinen und Mechanismen sowie technologische Vorgänge behandeln, die dem Schüler bei der Besichtigung begegnen. Auch die Anwendungsaufgaben können bereits in dieser Richtung liegen.

Am Tage vor der Besichtigung wird eine einleitende Besprechung durchgeführt. Die Schüler bekommen je nach Art des Besichtigungsobjekts vielleicht das Schema einer technischen Einrichtung, eine Übersicht vom Aufbau des Betriebes oder andere Hinweise, die für die Orientierung wichtig sind. Wir werden auch zurückliegenden Stoff wiederholen, der für das Verständnis der technischen Prozesse und Anlagen erforderlich ist, die wir besichtigen. In dieser Besprechung wird außerdem der Besichtigungsplan aufgestellt.

Vielfach können wir bei der Vorbereitung auch die Kenntnisse der Schüler heranziehen, die sie in der Maschinenkunde und in der Elektrotechnik während der Übungen in den Schulwerkstätten erworben haben. Wir werden auch Unterrichtsfilme, Filmstreifen, populärwissenschaftliche Filme und Kurzfilme der Reihe „Aus Wissenschaft und Technik“¹ einsetzen. Die Filme können dynamische Vorgänge der Produktion oft sehr eindrucksvoll veranschaulichen. Teilweise zeigen sie auch Vorgänge und technische Einrichtungen, die im Betrieb durch Gehäuse verdeckt oder aus Sicherheitsgründen nicht zugänglich sind. Dies trifft für die Dampfmaschine, die Dampfturbine, den Generator, den Verbrennungsmotor, das Wechselgetriebe einer Werkzeugmaschine, das Umspannwerk und viele andere Objekte zu. Daher ist auch zu empfehlen, daß Reparaturabteilungen oder Lehrmittelsammlungen der Betriebsberufsschulen mit aufgesucht werden.

In keinem Falle kann aber ein Film die Betriebsbesichtigung ersetzen. Beide können sich gegenseitig wertvoll ergänzen. Methodische Erwägungen müssen entscheiden, ob der Film bei der Vorbereitung oder bei der Auswertung der Exkursion eingesetzt wird.

Wenn die Exkursion sehr umfangreich ist, werden die Aufträge auf einige Schülergruppen aufgeteilt. Bei einer kleineren Exkursion erhält die ganze

¹ Diese Filme wurden teilweise auch in deutschen Lichtspieltheatern gezeigt.

Klasse eine gemeinsame Aufgabe. Beim Besuch eines Wärmekraftwerks macht sich beispielsweise eine Schülergruppe eingehender mit der Brennstoff- und Wasseraufbereitung sowie dem Kesselraum vertraut. Eine zweite Gruppe studiert die Turbogeneratoren und die Schaltanlage des Maschinen- saals, eine dritte Gruppe die Fernheizanlage und eine vierte die Schaltwarte des Kraftwerks. Auch in diesem Fall besichtigen jedoch alle Schüler der Klasse den ganzen Betrieb.

Die Aufgabenstellung richtet sich nach dem Inhalt der Exkursion. Neben der Klärung der physikalischen Grundlagen, die dem Produktions- prozeß zugrunde liegen, muß besonders die praktische Seite berücksichtigt werden. Die Schüler müssen erfassen, wie eine Maschine aufgebaut ist, wie sie angelassen und angehalten wird, welche Arbeitsgänge sie ausführt, welche Kontrollgeräte vorhanden sind und manches mehr. In einigen Fällen kann man von den Schülern Messungen durchführen lassen. Beispielsweise können sie den Zylinderdurchmesser und den Kolbenhub eines Ver- brennungsmotors messen, wenn sich der Motor in Reparatur befindet. Weiter können Meßgeräte abgelesen, der Energieverbrauch bei der Arbeit eines Motors während einer Schicht berechnet und andere Aufträge durch- geführt werden. Es versteht sich dabei von selbst, daß die Schüler die Be- deutung ihrer Aufträge erfaßt haben müssen.

Während der Exkursion gibt der Lehrer oder ein Betriebsangehöriger die Erläuterungen. Dabei wird der Betrieb in der Reihenfolge des Produk- tionsablaufs besichtigt. Die Schüler bekommen Hinweise für die Erledigung ihrer Aufträge, und es wird ihnen genügend Zeit dafür gelassen. Es ist ständig darauf zu achten, daß die Schüler die Sicherheitsvorschriften einhalten.

Bei der Auswertung überprüft der Lehrer die Durchführung der Aufträge. Er beantwortet die Fragen der Schüler und stellt selbst Fragen, damit er die gewonnenen Eindrücke verallgemeinern kann. Hierbei ist erforderlich, daß nur das Wesentliche herausgearbeitet wird, weil zu viele Einzelheiten die Schüler verwirren könnten.

Die Schüler sollten in ihr Physikheft nur eine knappe Darstellung der Exkursion aufnehmen, die wichtige Erläuterungen, Schemata und Zeich- nungen umfaßt. Keinesfalls sollte ein Aufsatz verlangt werden, der die Schüler unnötig belastet und ihr Interesse an weiteren Betriebsbesichti- gungen abtötet.

Die technischen Angaben, die im Betrieb genannt wurden, können nicht nur bei der Auswertung, sondern auch für Anwendungsaufgaben in anderen Stoffgebieten herangezogen werden. Dadurch bringen die Schüler diesen Aufgaben ein stärkeres Interesse entgegen.

Das gesammelte Material kann in Form von Tabellen, von Schemata und anderer physikalisch-technischer Anschauungsmittel zusammengestellt werden, damit es auch andere Schüler kennenlernen. Weiterhin kann es in Arbeitsgemeinschaften bei ähnlichen Themen zugrunde gelegt werden.

Im folgenden bringen wir Entwürfe für Besichtigungen mit verschiedenen Klassenstufen.

Entwürfe für Exkursionen

I. Besichtigung einer Großbaustelle (6. Klasse)

Vorbereitung

1. Einführende Besprechung

- a) Ziel der Besichtigung.
- b) Besichtigungsobjekte: Kran, Seilwinde.
- c) Wiederholung: Hebel, Kraft- und Lastarm, Gleichgewichtsbedingung am Hebel; feste und lose Rolle.

2. Schüleraufträge

- a) Wo finden wir beim Kran feste Rollen?
- b) Beschreibt die Änderung der Krafttrichtung durch eine feste Rolle!
- c) Wo finden wir lose Rollen am Kran?
- d) Mißt den Durchmesser der losen Rollen!
- e) Bestimmt angenähert den Lastarm des Krans!
- f) Warum wird der Kran von der angehängten Last nicht umgeworfen?
- g) In welcher Weise ändert sich die potentielle Energie einer Last, die vom Kran gehoben wird?
- h) Welche Aufgabe hat der Kran?
- i) Wozu benutzt man eine Seilwinde?
- j) Bewegt sich die Kurbel der Seilwinde (Bahngeschwindigkeit) oder die von ihr gehobene Last schneller?

Besichtigungsprogramm

- a) Aufgabe eines Kranes und einer Seilwinde.
- b) Hauptteile des Kranes: Turm, Ausleger, Gegengewicht, Fahrgestell, Führhäuschen, Trosse, Antrieb für die eigene Fortbewegung und zum Heben der Lasten.
- c) Lose und feste Rolle am Kran.
- d) Seilwinde: Hauptteile, die Winde als zusammengesetzte Maschine, Anwendung der Winde beim Kran.

Auswertung

Die Auswertung erfolgt auf Grund der Schüleraufträge.

II. Besichtigung einer Wassermühle (6. Klasse)

Vorbereitung

1. Einführende Besprechung

2. Schüleraufträge

- a) Beschreibt die Anlage und die Aufgabe des Wehres!
- b) Bestimmt angenähert den Niveauunterschied zwischen Ober- und Unterwasser!
- c) Beschreibt den Weg des Wassers bis zum Mühlrad!
- d) Bestimmt die Art des Mühlrades!
- e) Welche Zeit benötigt das Mühlrad für eine volle Umdrehung?
- f) Auf welche Weise wird die Drehbewegung des Wasserrades auf die Mahlvorrichtung übertragen?

Besichtigungsprogramm

- a) Wehr: Wasserregulierung, Wasserverbrauch, potentielle Energie des gestauten Wassers.
- b) Wasserrad: Art und Aufgabe des Rades.
- c) Mahlvorrichtung, Beförderung des Getreides und des Mehles.
- d) Wirkungsgrad der Mühle (unproduktive Energieausnutzung).

Auswertung

- a) Wie berechnet sich die Energie des gestauten Wassers?
- b) Welche Energieumwandlungen erfolgen bei einer Wassermühle?
- c) Wie kommt die Drehung des Wasserrades zustande?
- d) Wie gelangt das Getreide vom Kornboden zu der Mahlvorrichtung?

III. Besichtigung einer Lokomobile (7. Klasse)

Vorbereitung

1. Einführende Besprechung

- a) Erklärung des Begriffs „Lokomobile“.
- b) Anwendungsgebiet der Lokomobile in der Landwirtschaft.
- c) Vorzüge und Mängel der Lokomobile.
- d) Hauptteile der Lokomobile.
- e) Wiederholung aus der Mechanik und der Wärmelehre: Druck, Sieden des Wassers, Wärmeausbreitung, Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit, Wirkungsgrad.

2. Schüleraufträge

- a) Beschreibt die Feuerung und den Dampfkessel der Lokomobile!
- b) Welche Kontroll- und Meßgeräte sind zur Überwachung des Kessels notwendig, und welche Aufgaben erfüllen sie?
- c) Beschreibt den Weg der Verbrennungsgase!
- d) Wo befindet sich die Dampfmaschine der Lokomobile?
- e) Wie wird die Hin- und Herbewegung des Kolbens in eine Drehbewegung des Schwungrads umgewandelt?
- f) Welche Maschinen werden von einer Lokomobile angetrieben?

Besichtigungsprogramm

- a) Allgemeine technische Daten.
- b) Brennstoffe, Feuerung, Rauchrohre, Weg der Verbrennungsgase.
- c) Vorgänge bei der Dampferzeugung, Aufgabe des Überhitzers.
- d) Armatur am Kessel: Wasserstandsanzeiger, Wasserhähne, Sicherheitsventil, Manometer, Dampfableitbahn.
- e) Dampfmaschine: Zylinder, Kolben, Schieberkasten.
- f) Kurbeltrieb: Kolbenstange, Schieberstange, Parallelführung der Kolben- und der Schieberstange, Kreuzkopf, Pleuelstange, Kurbelwelle, Schwungrad.
- g) Zusatzgeräte: Wasserpumpe, Wasservorwärmer.
- h) Wärmebilanz der Lokomobile. Vorzüge und Nachteile der Dampfkraftanlagen am Beispiel der Lokomobile besprechen.

Auswertung

- a) Nennt die Hauptteile der Lokomobile und ihre Aufgaben!
- b) Berichtet über die Wärmeverluste!
- c) Auf welche Weise kann der Wirkungsgrad einer Lokomobile erhöht werden?
- d) Gebt Beispiele für die schädliche und die nützliche Wirkung der Reibungskräfte bei der Arbeit der Lokomobile!
- e) Welche Aufgaben haben die Kontroll- und Meßgeräte?
- f) Wozu dient das Schwungrad?
- g) Welche Maschinen treibt die Lokomobile in der Landwirtschaft an?

IV. Besichtigung eines Kraftwagens (7. Klasse)

Vorbereitung

1. Einführende Besprechung

- a) Die Bedeutung des Kraftwagens für die Volkswirtschaft.
- b) Die Übertragung der Drehbewegung vom Motor auf die Hinterachse (Verwendung einer Anschauungstafel).
- c) Wiederholung: Wärmeausbreitung, Trägheit, Reibung, Arbeitsweise des Verbrennungsmotors (Verwendung eines Schnittmodells).

2. Schüleraufträge

Gruppe A: Allgemeine Angaben

- a) Ermittelt den Kraftwagentyp und die Firmenbezeichnung!
- b) Informiert euch über die Anzahl der Zylinder, die Leistung und die Höchstgeschwindigkeit!
- c) Wie groß ist der Brennstoffverbrauch?
- d) Wofür wird die Wärme verbraucht, die im Zylinder frei wird?
- e) Über welche Meß- und Kontrollgeräte verfügt der Fahrer?

Gruppe B: Kolben

- a) Welche Aufgabe hat der Kolben?
- b) Wozu dienen die Kolbenringe und wieviel sind vorhanden?
- c) Ermittelt den Durchmesser des Kolbens!
- d) Woraus besteht der Kolben und warum wird dieses Material verwendet?
- e) Zeichnet einen Schnitt durch den Kolben!

Gruppe C: Pleuelstange

- a) Welche Aufgabe hat die Pleuelstange?
- b) Meßt die Länge der Pleuelstange!
- c) Wozu dient die Weißmetalleinlage in der Lagerschale der Pleuelstange?
- d) Zeichnet die Form der Pleuelstange!

Gruppe D: Kurbelwelle

- a) Welche Aufgabe hat die Kurbelwelle?
- b) Zählt die Kurbelzapfen!
- c) Warum sind die Kurbelzapfen poliert?
- d) Wieviel Hübe macht jeder Kolben bei einer Umdrehung der Kurbelwelle?
- e) Wieviel Hübe machen alle Kolben bei einer Umdrehung der Kurbelwelle und wieviel sind davon Arbeitstakte?
- f) Zeichnet die Form der Kurbelwelle!

Gruppe E: Nockenwelle, Ventile

- a) Wozu dient die Nockenwelle?
- b) Wieviel Nocken sitzen auf einer Welle und warum sind diese poliert?
- c) Welche Aufgabe haben die Ventile?
- d) Zeichnet die Form eines Ventils!
- e) Dreht sich die Kurbel- oder die Nockenwelle schneller?
- f) Begründet die Beobachtung von e)!

Gruppe F: Getriebe

- a) Welche Aufgabe hat das Schwungrad?
- b) Betrachtet die Kupplungscheibe und erkundigt euch nach der Art des Kupplungsbelags!
- c) Was versteht man unter dem Wechselgetriebe?
- d) Warum besitzen die einzelnen Zahnräder des Getriebes verschiedene Zähnezahlen?

Gruppe G: Wasserkühlung

- a) Warum muß der Motor während des Laufens gekühlt werden?
- b) Auf welche Weise wird der Motor gekühlt?
- c) Woraus bestehen die Lamellen oder die Wasserröhren eines Wasserkühlers? Begründet die Verwendung dieses Materials!
- d) Welche Aufgabe hat der Lüfter?

Besichtigungsprogramm

- a) Allgemeine technische Daten: Firmenbezeichnung, Motorleistung, Kraftstoff, Geschwindigkeit, Tragfähigkeit, Wärmebilanz des Kraftwagens.
- b) Motorblock mit Zündkerzen.
- c) Wasserkühlung: Wasserumlauf, Kühlwasserpumpe, Kühler, Lüfter, Antrieb der Kühlwasserpumpe und des Lüfters.
- d) Kraftübertragung und Räder: Gelenkwelle, Achsantrieb, Ausgleichsgetriebe, Räder, Luftdruck in den Reifen.
- e) Lenkung, Meß- und Kontrollgeräte.
- f) Kurbeltrieb: Kolben mit Kolbenringen, Pleuelstange, Kurbelwelle, Schwungrad.
- g) Motorsteuerung: Nockenwelle, Nocken, Ventile.
- h) Kupplung und Wechselgetriebe.

Während der Besichtigung sollen die Schüler ihre Aufträge weitestgehend selbständig erfüllen.

Auswertung

- a) Nennt die Hauptteile des Kraftwagens!
- b) Welche Aufgabe hat der Motor?
- c) Aus welchen Teilen besteht der Übertragungsmechanismus?
- d) Welche physikalischen Erscheinungen liegen beim Kühlsystem des Motors vor?
- e) Wie wird bei der Konstruktion einzelner Teile des Motors die Ausdehnung bei Erwärmung berücksichtigt?
- f) Welche Energieumwandlungen erfolgen bei einem fahrenden Wagen?
- g) Erklärt die nützliche und die schädliche Wirkung der Reibung beim Fahren!
- h) Erläutert die volkswirtschaftliche Bedeutung der Personen- und Lastkraftwagen!

V. Besichtigung eines kleinen Wasserkraftwerks (7. Klasse)

Vorbereitung

1. Einführende Besprechung

- a) Die ökonomische Bedeutung der Elektrifizierung.
- b) Die Anwendung der Elektrizität in der Landwirtschaft.
- c) Der allgemeine Aufbau eines Wasserkraftwerks.

2. Schüleraufträge

Gruppe A: Staudamm

- a) Bestimmt die Ausmaße (Länge, Breite und Höhe) des Staudamms und stellt fest, aus welchem Material dieser besteht!
- b) Wie groß ist der Niveauunterschied zwischen Ober- und Unterwasser? Welcher Druck errechnet sich daraus?
- c) Welche Sicherungsmaßnahmen gegen Hochwasser und Eisgang sind vorhanden?
- d) Welche Aufgabe hat der Staudamm?

Gruppe B: Wasserversorgung der Turbine

- a) Beschreibt den Weg des Wassers vom Staubecken bis zum Verlassen der Turbine!
- b) Welche Energieform wird von der Turbine ausgenutzt?
- c) Wie groß ist die mittlere Leistung des zur Turbine fließenden Wassers?
- d) Wo befindet sich der Einlaufkanal der Turbine?
- e) An welcher Stelle fließt das Wasser von der Turbine ab?

Gruppe C: Leistung des Kraftwerks

- a) Notiert die technischen Daten der Turbine (Leistung, Drehzahl, Anzahl der Schaufeln)!
- b) Wieviel Generatoren werden insgesamt angetrieben?
- c) Wie groß ist die Gesamtleistung des Kraftwerks?
- d) Mit welchem Wirkungsgrad arbeitet das Kraftwerk?

Gruppe D: Meß- und Steuergeräte

- a) Welche elektrischen Meßgeräte befinden sich im Kraftwerk (Ampere-, Volt-, Wattmeter, Elektrizitätszähler)?
- b) Welche Aufgaben haben diese Geräte?
- c) Notiert die während der Besichtigung angezeigten Werte!
- d) Welche Vorrichtungen dienen der Steuerung (Regelwiderstände, Schalter, automatische Sicherungen)?
- e) Beschreibt die Anordnung und die Aufgaben dieser Geräte!

Gruppe E: Ausgang der Elektroenergie

- a) Wie groß ist die Primär- und die Sekundärspannung der Transformatoren?
- b) Welches Übersetzungsverhältnis besitzen die Transformatoren?
- c) Wie sind die Leitungen gegen Erde isoliert?
- d) Beschreibt die Blitzschutzanlage!
- e) Welche Verbraucher beziehen vom Wasserkraftwerk elektrische Energie?

Besichtigungsprogramm

- a) Anlage des Kraftwerks: Anordnung der Gebäude, Typ des Kraftwerks, Staudamm.
- b) Maschinenraum: Hydroaggregate, Generatorleistung, Spannung, Stromart.
- c) Schaltanlage: Meß- und Kontrollgeräte, Schutzvorrichtungen (Sicherungen).
- d) Energieübertragung: Transformatoren, Maste, Leitungen, Blitzschutz.

Auswertung

- a) Wozu dient der Staudamm?
- b) Welche Aufgabe hat das Hydroaggregat?
- c) Welche Energieumwandlungen erfolgen in diesem?
- d) Nennt die elektrischen Meßgeräte im Kraftwerk!
- e) Wie groß ist die Leistung des Kraftwerks?
- f) Wo wird die Elektroenergie des Kraftwerks verwandt?

VI. Besichtigung einer Großbaustelle (8. Klasse)

Vorbereitung

1. Einführende Besprechung
 - a) Wiederholung: 3. Newtonsches Gesetz, potentielle und kinetische Energie, Energieerhaltungssatz, Standfestigkeit, Drehmoment, Gleichgewichtsbedingungen für Kräfte, Wirkungsgrad.
 - b) Die Entwicklung und die Mechanisierung der Bauindustrie.
 - c) Beschreibung des Aufbaus eines Turmdrehkrans.
 - d) Die am Kran angreifenden Kräfte. Bedingung für dessen stabiles Gleichgewicht.
 - e) Die Seilwinde als Kombination mehrerer Wellräder. Das Übersetzungsverhältnis eines Zahnradtriebs. Kraftgewinn bei der Seilwinde.
2. Schüleraufträge
 - a) Beschreibt die Hauptteile des Turmdrehkrans: Turm, Ausleger, Gegengewicht, Fahrgestell!
 - b) Wie erfolgt bei der Seilwinde die Kraftübertragung?
 - c) Sucht bei der Handwinde die Kombination zweier Wellräder!
 - d) Wo befindet sich beim Kran eine Winde und welche Aufgabe erfüllt diese?
 - e) Beschreibt die am Kran angreifenden Kräfte!
 - f) Welche Arten der Bewegung treten bei einem arbeitenden Kran auf?
 - g) Beobachtet die Arbeit anderer Baumaschinen und Mechanismen auf der Baustelle!

Besichtigungsprogramm

- a) Aufgabe und Aufbau des Turmdrehkrans.
- b) Am Kran angreifende Kräfte: Turmgewicht, Auslegergewicht, Last, Gegengewicht. Beschreibung dieser Kräfte nach Größe und Richtung. Stabilitätsbedingung. Sicherheitsfaktor.
- c) Zusammensetzung der Bewegungen und Energieumwandlungen beim Heben einer Last.
- d) Wirkungsweise und Wirkungsgrad einer Seilwinde.
- e) Aufgabe anderer Maschinen und Mechanismen auf der Baustelle.

Auswertung

- a) Aus welchen einfachen kraftumformenden Einrichtungen besteht eine Seilwinde?
- b) Wodurch ergibt sich bei der Winde ein Kraftgewinn?
- c) Was können wir über den Arbeitsgewinn einer Winde sagen?
- d) Warum ist der Wirkungsgrad einer Winde kleiner als 1?
- e) Welche Hauptteile des Krans haben wir gesehen?
- f) Nennt einfache kraftumformende Einrichtungen am Kran und erklärt ihre Bedeutung!

- g) Zeichnet das Schema eines Turmdrehkrans mit den an ihm angreifenden Kräften!
- h) Wie lautet die Gleichgewichtsbedingung für diesen Kran?
- i) Führt Beispiele für zusammengesetzte Bewegungen an, die beim Heben einer Last vorkommen!
- j) Welche Energieumwandlungen treten bei der Arbeit des Krans auf?
- k) Beschreibt andere Baumaschinen und Mechanismen auf der Baustelle!

VII. Besichtigung einer Windkraftanlage (9. Klasse)

Vorbereitung

1. Einführende Besprechung

- a) Wiederholung: Arbeit, Leistung, potentielle und kinetische Energie, Energieerhaltungssatz, Übertragungsarten der Drehbewegung.
- b) Die Berechnung der Leistung einer Luftströmung (S. 75).
- c) Die Anwendungen der Windkraftanlagen in der Landwirtschaft.
- d) Das Zustandekommen einer Querkraft an den Flügeln des Windrads.

2. Schüleraufträge

- a) Welche Aufgaben haben das Windrad, die Windfahne, der Turm und die Getriebe?
- b) Wie wird die Drehbewegung des Windrades auf die anzutreibenden Maschinen übertragen?
- c) Berechnet aus der Windgeschwindigkeit¹ und dem Durchmesser des Windrads die von der Windkraftanlage entwickelte Leistung (in PS)! Der Wirkungsgrad der Kraftanlage ist mit 0,3 anzusetzen!
- d) Welche einfachen kraftumformenden Einrichtungen finden wir bei einer Windkraftanlage?

¹ Wenn kein Anemometer vorhanden ist, läßt sich die Windgeschwindigkeit nach folgenden Anhaltspunkten schätzen:

Beaufort-Skala

Windstärke	Windgeschwindigkeit $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	Bezeichnung	Auswirkungen im Binnenland
0	0,0 bis 0,2	still	Windstille, Rauch steigt gerade empor
1	0,3 bis 1,5	leiser Zug	Windrichtung angezeigt nur durch Zug des Rauches
2	1,6 bis 3,3	leichte Brise	Wind am Gesicht fühlbar, Blätter säuseln, Windfahne bewegt sich
3	3,4 bis 5,4	schwache Brise	Bewegt Blätter und dünne Zweige, streckt einen Wimpel
4	5,5 bis 7,9	mäßige Brise	Hebt Staub und loses Papier, bewegt Zweige und dünnere Äste
5	8,0 bis 10,7	frische Brise	Kleine Laubbäume schwanken, Schaumkämme auf Seen

(Auszug aus „Brockhaus, ABC der Naturwissenschaft und Technik“, Leipzig 1960).

Besichtigungsprogramm

- a) Hauptteile der Windkraftanlage und ihre Aufgabe.
- b) Unteres Getriebe der Kraftanlage. Zahnrad- und Riementrieb.
- c) Pumpenanlage: Pumpe, Kurbeltrieb, Brunnenschacht.
- d) Stirnwiderstand des Turms und des Windrades. Regulierung der Drehzahl des Windrades.
- e) Wasserleitungsnetz: physikalische Grundlage, Wasserturm, Hauptleitungsrohre, Selbsttränke.

Auswertung

- a) Welche Vor- und Nachteile ergeben sich bei der Ausnutzung der Windenergie?
- b) Warum verwendet man Windkraftanlagen vorwiegend in der Landwirtschaft?
- c) Beschreibt die Energieumwandlungen bei einer Windkraftanlage!
- d) Wie kommt die Drehung des Windrades zustande?

VIII. Besichtigung eines Wärmekraftwerks (10. Klasse)

Vorbereitung

1. Einführende Besprechung

- a) Die Bedeutung der Elektrifizierung für die UdSSR.
- b) Aufbau eines Wärmekraftwerks: Brennstofflager, Kesselhaus, Maschinensaal, Schaltzentrale, Umspannwerk.
- c) Die Energieumwandlungen im Kraftwerk.

2. Schüleraufträge

Gruppe A: Kesselhaus

- a) Welcher Kesseltyp ist vorhanden und wie ist sein Aufbau?
- b) Beschreibt die Aufbereitung des Brennstoffs und die Beschickung des Feuerraums!
- c) Mit welchem Dampfparameter (Temperatur, Druck) arbeitet ein Kessel?
- d) Welche Kontroll- und Meßgeräte überwachen den Kessel?
- e) Wie groß ist der Wirkungsgrad eines Kessels?

Gruppe B: Maschinensaal (Dampfturbine)

- a) Beschreibt den Aufbau und die Wirkungsweise der Dampfturbine!
- b) Mit welchem Parameter wird der Dampf der Turbine zugeführt?
- c) Wie groß ist die Leistung und der Wirkungsgrad einer Turbine?
- d) Wie wird der Abdampf verwendet?

Gruppe C: Maschinensaal (Turbogenerator)

- a) Beschreibt den Aufbau und die Wirkungsweise des Generators!
- b) Wozu dient die Erregermaschine?
- c) Wie groß ist der Wirkungsgrad des Generators?
- d) Wie wird der Generator gekühlt, und wie erfolgt die Temperaturkontrolle?

Gruppe D: Schaltwarte

- a) Welche Aufgaben haben die Schalttafeln und die Schaltpulte?
- b) Welche Geräte befinden sich in der Schaltwarte zur Kontrolle, zur Fernsteuerung und für die Nachrichtenübermittlung?
- c) Nennt die Aufgaben und die Wirkungsweisen dieser Geräte!

Besichtigungsprogramm

- a) Brennstoff: Kohlenstaubeuerung, Mühle, Brenner.
- b) Dampfkessel: Aufbau, physikalische Grundlage des natürlichen Wasserumlaufs, Dampfdruck. Vorzüge hoher Dampfparameter.
- c) Dampfturbine: Aufbau, Energieumwandlungen. Hohe Dampfparameter für leistungsfähige Turbinen. Blockanordnung von Turbine und Kessel.
- d) Turbogenerator: Aufbau des Ständers und des Läufers, Anzahl der Polpaare des Läufers, Kühlung; Drehzahl, erzeugte Spannung. Erregermaschine.
- e) Schaltwarte: Aufgabe, Schalttafeln, Schaltpulte. Meßgeräte: Ampere-, Volt- und Wattmeter, Frequenzmesser, Elektrizitätszähler.

Auswertung

- a) Nennt die Hauptteile des Kessels und ihre Aufgaben (Feuerraum, Röhren, Dampfsammler, Überhitzer, Vorwärmer)!
- b) Wie entsteht der natürliche Wasserumlauf?
- c) Warum wird der Brennstoff pulverisiert?
- d) Nennt die Hauptteile der Turbine (Hoch- und Niederdruckteil, Schaufelräder, Rohrleitungen)!
- e) Wie arbeitet die Turbine?
- f) Wie wird der Abdampf verwendet?
- g) Nennt die Hauptteile des Generators (Ständer, Läufer)!
- h) Welche Aufgabe haben die Feldmagnete? Warum müssen die Wicklungen gegeneinander und gegen das Eisen des Läufers isoliert werden?
- i) Warum muß der Generator gekühlt werden?
- j) Welche Aufgabe haben die Kontrollgeräte des Generators (Ständerkreis: Ampere-, Volt- und Wattmeter, Elektrizitätszähler, elektrische Thermometer — Läuferkreis: Ampere- und Voltmeter)?

IX. Besichtigung der elektrischen Anlagen eines kleinen Wärmekraftwerks (10. Klasse)

Vorbereitung

1. Einführende Besprechung

- a) Wiederholung des Stoffes aus der 9. Klasse: Dampfbildung, Wärmeausbreitung, Energieerhaltungssatz.
- b) Der Aufbau und die Wirkungsweise einer Dampfmaschine.
- c) Wiederholung des Drehstromgenerators.
- d) Aufbau der Meßwandler und der Schütze.

2. Schüleraufträge

- a) Beschreibt die Erregermaschine (Kollektor, Bürstenhalter, Wicklungen des Ankers, Magnetpole)!
- b) Beschreibt den Generator, und zählt die Pole des Läufers!
- c) Schreibt die auf dem Typenschild des Generators angegebenen Daten auf!
- d) Welche Meßgeräte befinden sich auf dem Schaltpult?
- e) Betrachtet durch die geöffnete Seitentür die im Schaltpult befindlichen Geräte!
- f) Welche Verbraucher werden vom Kraftwerk mit elektrischer Energie versorgt?
- g) Ermittelt den Weg des Dampfes in der Dampfkraftanlage!
- h) Für welche Zwecke werden Abdampf und Heißwasser genutzt?

Besichtigungsprogramm

- a) Aufbau der Erregermaschine.
- b) Generator: Läufer, Ständer, Wicklungen, Kühlung, Stromabnahme vom Ständer, Leistung.
- c) Aufgabe und Meßgeräte des Schaltpultes.
- d) Stromabgabe: Leitungen, Schalter, Sicherungen, Meßwandler, Schütze.
- e) Dampfkessel: Kesseltyp, Dampfparameter.
- f) Dampfmaschine: Leistung, Zylinderzahl, Schwungrad.
- g) Wasserhaushalt: Speisewasserzufuhr, Wärmeaustauscher, Fernheizanlage.

Auswertung

- a) Wozu sind die Feldspulen notwendig?
- b) Beschreibt die Stromerzeugung im Generator!
- c) Warum erwärmen sich Läufer und Ständer?
- d) Nennt die Energieumwandlungen im Kraftwerk!
- e) Welche Vorteile hat die kombinierte Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme?

X. Besichtigung eines Funkhauses (10. Klasse)

Vorbereitung

1. Einführende Besprechung

- a) Die Erfindung des Radios durch A. S. Popow. Stand und Entwicklung der Rundfunktechnik in der UdSSR.
- b) Wiederholung: Niederfrequenzverstärker, Transformator, Gleichrichter.
- c) Aufgabe des Funkhauses.

2. Schüleraufträge

- a) Macht euch mit dem allgemeinen Aufbau des Funkhauses vertraut!
- b) Beschreibt die Einrichtung des Studios!
- c) Zeichnet das Schema eines Mikrofons!
- d) Nennt einzelne Geräte der Verstärkeranlage und ihre Funktionen!
- e) Wie groß ist die Eingangsspannung der Tonfrequenz am Verstärker?
- f) Wie groß ist die Ausgangsspannung der einzelnen Stufen?
- g) Welche Eingangs- und Ausgangsleistung besitzt die Tonfrequenz an den einzelnen Verstärkerstufen?
- h) Berechnet aus der Eingangs- und Ausgangsleistung der Verstärkeranlage den Verstärkungsfaktor!
- i) Welche Aufgaben haben die Gleichrichter?
- j) Notiert die vorhandenen Meßgeräte und deren Meßbereiche!
- k) Achtet auch auf Einzelgeräte, wie Elektronenröhren, Transformatoren, Kondensatoren, Sicherungen, Isolatoren und andere!

Besichtigungsprogramm

- a) Studio: Aufbau, Arbeitsweise, Mikrofone, Aufnahmegerät, Mischpult, Steuerpult.
- b) Verstärkeranlage: Vorverstärker, Zwischen- und Endverstärker. Schaltanlage der Stromversorgung.
- c) Sonstige Einrichtungen: Blitzschutzanlage, mechanische Werkstatt, Elektrowerkstatt.

Auswertung

- a) Welche Arten der Verstärkung werden angewandt?
- b) Beschreibt den Weg der Sendung von der Aufnahme bis zur Weiterleitung an den Sender!
- c) Zeichnet das Blockschaltbild eines Verstärkerkanals!
- d) Wie groß ist der Verstärkungsfaktor jeder einzelnen Stufe und der gesamten Anlage?
- e) Zu wieviel Prozent wird die zugeführte elektrische Energie nutzbringend verwendet?
- f) Beschreibt den Aufbau und die Wirkungsweise des Mikrofons und des Tonabnehmers!
- g) Welche Größen wurden mit elektrischen Meßgeräten bestimmt?

4. Außerunterrichtliche Arbeit

Die außerunterrichtliche Arbeit der Schüler ist in der Sowjetunion sehr verbreitet. Zahlreiche Physiklehrer haben darüber ihre Erfahrungen in der pädagogischen Literatur veröffentlicht. Während bisher diese Arbeit die verschiedensten Formen angenommen hat, ist es nun an der Zeit, die Tätigkeit der Arbeitsgemeinschaften auf die polytechnische Bildung zu konzentrieren. Es ist auch weiterhin darauf zu achten, daß die Schüler unter Berücksichtigung ihrer Interessen und Anlagen freiwillig den Arbeitsgemeinschaften beitreten. Sie sollen in diesen ihr theoretisches Wissen vertiefen und erweitern sowie ihre Fachkenntnisse und Fertigkeiten vervollkommen.

Die stürmische technische Entwicklung der Sowjetunion führt zu einer steigenden Produktion an Fahrzeugen, Werkzeug- und anderen Maschinen. Die Jugend strebt danach, sich die physikalischen Grundlagen anzueignen, damit sie diese Maschinen beherrschen lernt. Aus dieser Sicht ergeben sich für die Arbeitsgemeinschaften folgende Aufgaben:

1. Konstruktion und Selbstbau von Demonstrations- und Schülerübungsgeräten, funktionstüchtigen Modellen und anderen Anschauungsmitteln.
2. Verstärkte Ausbildung in der Elektrotechnik (elektrische Maschinen, Rundfunktechnik; Mitarbeit bei der Installation elektrischer Anlagen).
3. Ausbildung an Kraftfahrzeugen (Motorrad, Kraftwagen, Traktor).
4. Unterweisungen an landwirtschaftlichen Maschinen.

In dieser Richtung gibt es bereits nachahmenswerte Beispiele. So hat der Physiklehrer Jakowlew für seine Arbeitsgemeinschaft „Elektrotechnik“ einen Plan ausgearbeitet, der mit der Aufstellung eines Diesellaggregats für die Stromversorgung in der Schule erfüllt wurde. Diese Kraftanlage leistet 1,8 kW. In einer anderen Arbeitsgemeinschaft befaßten sich 19 Schüler mit dem Filmvorführungsgerät. Sehr nützlich war auch die Arbeit einer Schülergruppe in der 15. Staro-Korsunsker Schule (Bezirk Krasnodar), die ein elektrotechnisches Kabinett und eine Werkstatt einrichteten. Unter Anleitung der Lehrerin Donzowa wurden zwei Wärmekraftanlagen auf-

gebaut. Die eine mit einer Leistung von 25 kW versorgt die Schule, während die andere mit einer Leistung von 75 kW der Kolchose zur Verfügung steht. Während die Kraftanlage in der Schule von Schülern betreut wird, übernahmen ehemalige Teilnehmer der Arbeitsgemeinschaft, die inzwischen Kolchosmitglieder geworden sind, die Wartung der anderen Kraftanlage. Schüler installierten auch unter Leitung von B. N. Samajew (Bezirk Krasnodar) die Rundfunk- und Telefonanlage ihrer Schule. Außerdem richteten sie ein physikalisch-elektrotechnisches Kabinett ein. Dazu wurden physikalische Geräte selbst gefertigt und die Übungsplätze mit Strom versorgt.

Es ist günstig, wenn zwischen dem Unterricht und der außerunterrichtlichen Arbeit eine enge Verbindung besteht. Dadurch wird das Interesse der Schüler geweckt und weiter entwickelt. Vielfach wird die Arbeitsgemeinschaft, zum Beispiel „Rundfunktechnik“ oder „Fotografie“, auch den späteren Berufswunsch des Schülers beeinflussen. Deshalb ist es zu begrüßen, wenn Arbeitsgemeinschaften in Betrieben und in Berufs- und Fachschulen durchgeführt werden.

So organisierte beispielsweise der Physiklehrer P. G. Kowalew der 13. Mittelschule in Rostow einige technische Arbeitsgemeinschaften. Eine davon mit 19 Schülern befaßt sich unter Leitung des Ingenieurs A. J. Timochin an der Pioniereisenbahn mit dem Eisenbahntransportwesen. Eine andere Arbeitsgemeinschaft, die 15 Schüler umfaßt, lernt die mechanische Metallbearbeitung in der Schlosserei der Fachschule für Kraftfahrzeugwesen kennen. Diese wird von dem Meister W. B. Achljustin geleitet. In der gleichen Fachschule unterrichten Studenten der höheren Semester Schülergruppen am Motorrad und am Kraftwagen. Diese Ausbildung erfolgt in den Lehrkabinetten der Fachschule. Der Meister W. R. Karpow an der 14. Betriebsberufsschule unterrichtete eine weitere Arbeitsgemeinschaft in den Lehrwerkstätten dieser Schule im Drechseln.

Die Erfahrungen zeigen, daß die Arbeitsgemeinschaften in Betrieben und in Berufs- und Fachschulen viel erfolgreicher arbeiten können, da in den Mittelschulen meistens nicht entsprechende Werkstätten vorhanden sind. Außerdem ist in den Lehrwerkstätten die Anleitung durch Fachkräfte gesichert, und es kann eine größere Schülerzahl gleichzeitig beschäftigt werden. In diesen Fällen bleibt aber die Aufgabe bestehen, daß der Physiklehrer die außerunterrichtliche Arbeit organisiert, beim Aufstellen des Arbeitsplans mitwirkt und die Fortschritte der Schüler in den einzelnen Arbeitsgemeinschaften verfolgt.

Einige Schulen führen ihre technischen Arbeitsgemeinschaften in den Patenbetrieben durch. So hat die 2. Schule in Murmansk eine Schiffswerft als Patenbetrieb. Dieser Betrieb unterstützte die Schule bei der Einrichtung einer Funkanlage, stattete sie mit Lehrmitteln aus und half, die Schule zu renovieren. Einzelne Abteilungen der Werft übernahmen die Patenschaft für bestimmte Klassen. In der Werft werden zwei Arbeitsgemeinschaften für „Elektrotechnik“, zwei für „Rundfunktechnik“, eine für „Fotografie“

und eine für „Technisches Zeichnen“ unterwiesen. An diesen Arbeitsgemeinschaften nehmen die Schüler der oberen Klassen teil.

Der Lehrer W. A. Schewtschenko der 371. Mittelschule in Moskau richtete ebenfalls Arbeitsgemeinschaften in der Produktion ein. In diesen werden die Schüler an der Drehmaschine, in der Holzbearbeitung, am Kraftwagen, in der Elektro- und in der Rundfunktechnik sowie in der Fotografie unterwiesen. Nachdem zum Beispiel die Grundausbildung an der Drehmaschine in der Schulwerkstatt abgeschlossen war, legten die Schüler im Betrieb ein Praktikum ab. Sie schlossen diese Ausbildung mit dem „Technikum, 3. oder 4. Stufe“¹, ab. Die Schüler der Arbeitsgemeinschaft „Kraftfahrzeugtechnik“ erwarben zum Abschluß ihrer Ausbildung die Fahrerlaubnis für Kraftwagen. Diese außerunterrichtliche Arbeit erfolgte unter Anleitung von Facharbeitern des Patenbetriebs.

An der 443. Schule in Moskau leitete der Physiklehrer M. M. Terentjew eine Arbeitsgemeinschaft „Kraftfahrzeugtechnik“, deren Teilnehmer die Fahrerlaubnis erwarben. Solche Beispiele werden immer häufiger, und es haben sich verschiedene Möglichkeiten entwickelt, die Verbindung zur Technik herzustellen.

Sehr nützlich für die Bildung und die Erziehung ist der Selbstbau von Physikgeräten in der außerunterrichtlichen Arbeit. In dieser Richtung arbeiten viele Schulen. Wir weisen hier auf die Erfahrungen der Physiklehrerin K. N. Petrowa an der 10. Schule in Murmansk hin. Sie stellte Schülern der 7. Klasse die Aufgabe, in der Sammlung fehlende Geräte zu fertigen. Diese Arbeitsgemeinschaft montierte die gesamte elektrische Anlage des Übungsraums und stellte zahlreiche Demonstrationsgeräte her. Darunter befanden sich das Modell einer Seilwinde, ein Gerät zum Nachweis der elektrischen Leitfähigkeit, ein Waltenhofensches Pendel, ein Kurzzeitmesser, ein Luftstromerzeuger, ein Popowscher Gewittermelder², eine elektrische Kanone nach dem Prinzip des Thomsonschen Ringversuchs und ein Sonnenmotor. Die Arbeitsgemeinschaft arbeitet zwei Stunden in der Woche. Die Schüler eigneten sich die erforderlichen Handfertigkeiten in der Tischlerei und in der Schlosserei an und lernten das Lötten. Alle von den Schülern hergestellten Geräte weisen eine sehr gute Verarbeitung auf. Diese Tätigkeit hatte einen überaus positiven Einfluß auf die Fortschritte in Physik. Alle Teilnehmer kamen in Physik auf die Note „gut“ oder „ausgezeichnet“.

T. W. Sofina von der 121. Mittelschule in Gorki und J. A. Koshewnikow von der 108. Schule ließen funktionstüchtige Modelle anfertigen. So wurden Modelle eines Dampfkessels, einer Dampfmaschine und einer -turbine, einer Pumpanlage, eines Elektromotors, verschiedener Typen der Relais und andere gebaut. Bei dieser Arbeit wurde das Ziel verfolgt, das physikalische

¹ Qualifikationsnachweis für Facharbeiter (niedrige Stufen).

² A. S. Popow stellte als Erfinder der Antenne zum ersten Mal fest, daß sein Empfänger auf atmosphärische Entladungen bei entfernten Gewittern ansprach. Er baute daraufhin einen „Gewitteranzeiger“, bei dem auf einer Papiertrommel eine Feder unter der Wirkung elektrischer Impulse Kurven aufzeichnete. Die Schreibvorrichtung ist dabei ähnlich wie beim Barografen.

Kabinett zu ergänzen, das wissenschaftlich-technische Denken der Schüler zu entwickeln und ihre konstruktiven Anlagen zu fördern.

Zu dieser Form der außerunterrichtlichen Arbeit ruft auch der Beschluß des XII. Kongresses der Komsomolorganisation auf. Es ist erforderlich, auf jede Art und Weise die Entwicklung des kindlichen technischen Schaffens zu unterstützen, bei der Einrichtung der schulischen Kabinette zu helfen und den Schülern die Liebe zur physikalischen Arbeit anzuerziehen.

Es liegt auf der Hand, daß der polytechnische Unterricht gut ausgerüstete physikalische Kabinette in jeder Schule erfordert. Diese Aufgabe kann innerhalb einer kurzen Zeit gelöst werden, wenn die Lehrmittelsammlung sowohl mit Geräten aus der industriellen Produktion als auch mit selbstgebaute Lehrmitteln ausgestattet wird.

Die in Moskau, in den Bezirken und in den Kreisen durchgeführten Ausstellungen zeigen die große schöpferische Arbeit der Lehrer und der Schüler beim Aufbau physikalischer Kabinette. Mit dieser Arbeit werden gleichzeitig zwei Aufgaben gelöst:

1. die Schule erhält materielle Werte, es werden Schülerübungen ermöglicht, die Unterrichtsmethodik wird vervollkommen und die Kenntnisse der Schüler werden qualitativ verbessert;
2. die Schüler verrichten produktive Arbeit, sie erwerben praktische Kenntnisse und Fertigkeiten in der Holz- und in der Metallbearbeitung sowie bei elektrischen und rundfunktechnischen Montagearbeiten, und es wird das kindliche technische Schaffen entwickelt.

Die populärwissenschaftliche Literatur muß ebenfalls den Schülern helfen, sich mit physikalischen und technischen Problemen zu beschäftigen. Durch Buchausstellungen in der Schule können die Schüler auf die entsprechende Literatur hingewiesen werden. Es können außerdem Empfehlungslisten für solche Bücher ausgehängt werden. Die häusliche Lektüre und der Besuch von Vorträgen erweitern den polytechnischen Gesichtskreis der Schüler sehr stark.

IV. Anhang

1. Verzeichnis technischer Anwendungen im Physikunterricht

SECHSTE KLASSE

Mechanik

1. Längen-, Flächen- und Volummessung. *a) Bedeutung des Messens für die moderne Produktion.* Präzise Messungen an Werkstücken bei Dreharbeiten; Feststellung der Brennstoffmenge, die ein Traktor bei der Bearbeitung einer bestimmten Ackerfläche verbraucht.

b) Längenmessung. Messen der Werkstücke mit Lineal, Bestimmen des Durchmessers zylindrischer Werkstücke und von Bohrungen mit der Schieblehre. Ausmessen von Grundstücken und Gebäuden. Beispiele für die Genauigkeit der Messung in der modernen Produktion.

2. Schwerkraft. *Anwendung des Lots, der Wasserwaage und der Dosenlibelle:* Kontrolle beim Errichten der Mauern, beim Legen des Fußbodenbelags, beim Anbringen der Fenster- und Türrahmen, beim Aufstellen von Geräten und Werkzeugmaschinen; Prüfung bei der Ausführung von Erdarbeiten.

3. Wichte. *Die Wichte häufig verwendeter Metalle, Baumaterialien und Flüssigkeiten* (Stahl, Roheisen, Kupfer, Messing, Blei, Zinn; Glas, Beton, Ziegel, Sand, Holz; Eis; Wasser, Quecksilber, Petroleum, Benzin, Rohöl, Spiritus, Maschinenöl). Wichtebestimmungen in den Schülerübungen. Berechnung des Gewichts eines Werkstücks bei bekanntem Volumen und bekannter Wichte.

4. Die Kraft und ihre Messung (siehe Seite 26).

5. Druck. *a) Verringerung des Drucks:* Unterlegscheiben bei der Verbindung von Werkstücken durch Bolzen, Vergrößerung der Fundamentflächen unter Werkzeugmaschinen und großen Hämmern in Werkabteilungen, Raupenketten bei Traktoren und Baggern sowie Zwillingssreifen bei Lastkraftwagen. Die Größe des Drucks der Traktoren und der Kraftwagen auf ihre Stützfläche.

b) Erhöhung des Drucks: Wirkungsweise des Keils, der Ahle, des Beils, des Stemmeisens, des Messers, des Drehstahls, des Pflugschars und anderer Werkzeuge.

6. Die Druckausbreitung in Flüssigkeiten. a) *Verbundene Gefäße:* Schleusen bei Kanälen und bei Staudämmen der Wasserkraftwerke. Begriff der Schleusentreppe.

Schema der Wasserleitung in einer großen Ortschaft. Die Wasserleitung in einem Wohnhaus mit vielen Wohnungen. Wasserversorgung einer Tierzuchtfarm und Bewässerung der Felder. Die Bedeutung der Wasserversorgung für die Industrie (Elektrizitätswerke, Chemie-, Textil- und Nahrungsmittelbetriebe), für das Eisenbahnwesen, für kommunale Zwecke und für die Landwirtschaft.

b) *Luftdruck:* Ausnutzung bei Pumpen für die Hydromechanisierung. Die Fahrradpumpe. Druckluftgründung von Bauwerken mit Hilfe von Senkkästen. Die Druckluftbremse.

7. Auftrieb in Flüssigkeiten und Gasen. *Schwimmen, Schweben und Sinken:* Die Wasserverdrängung der Schiffe (bei Passagierdampfern bis 80 000 t). Schwimmdocks, Schlauchboote, Fähren, Pontonbrücken. Das Heben gesunkener Schiffe. Schwimmer im Vergaser. Steigen und Sinken eines Ballons. Untersuchung der oberen Schichten der Atmosphäre mit Stratosphärenballons.

8. Mechanische Bewegung. a) *Geschwindigkeit.* Verfahren der Zeitmessung. Verschiedene Geschwindigkeiten, die in der Industrie, Landwirtschaft und im Transportwesen auftreten. Geschwindigkeitsmessung bei Kraftfahrzeugen mit dem Tachometer (der innere Aufbau des Tachometers wird nicht behandelt).

b) *Trägheit.* Die Erscheinung der Trägheit in der Technik, beispielsweise beim Bremsen der Fahrzeuge (Eisenbahnwagen, Kraftfahrzeuge); die Berücksichtigung der Trägheit beim Anbetriebnehmen verschiedener Maschinen (zum Beispiel Transportmaschinen); die Ausnutzung der Trägheit bei der Dreschmaschine, bei der Drescheinrichtung der Kombi, bei Sortiermaschinen, beim Abwurf fertiger Werkstücke vom Fließband.

c) *Reibung.* Nützliche Reibung: Reibung eines Riemens auf einer Scheibe (Riementrieb), bei Rädern einer Lokomotive oder eines Straßenbahnwagens auf den Schienen; das Profil auf den Gummireifen der Fahrzeuge und der landwirtschaftlichen Maschinen; die Reibung an den Bremsvorrichtungen der Fahrzeuge, zwischen der Schraubenmutter und der Schraube und so weiter.

Vergrößerung der Reibung: Einsmieren der Treibriemen mit Kollophonium; Streuen von Sand unter die Treibräder der Lokomotiven und der Straßenbahnwagen; Anlegen der Schneeketten bei Kraftwagen; Gitterräder, Gleitschutzketten oder Klappgreifer an den Rädern der Traktoren; Rillen auf den Nagelköpfen.

Schädliche Reibung: Reibung der Achsen in den Lagern (Gleitreibung), zwischen verschiedenen Teilen der Maschinen.

Herabsetzung der Reibung: Schmieren, Auswahl geeigneter Materialien für die arbeitenden Teile einer Maschine, Verwendung von Wälzlagern.

Einführung von Rollenlagern bei der Eisenbahn, wodurch Schmier- und Brennstoffe eingespart werden und der Verschleiß an den Radachsen verringert wird.

Verwendung von Rollen bei Fließbändern. Die großen Wälzlagerfabriken der Sowjetunion erzeugen hochwertige Lager verschiedener Größe — von sehr großen für Bau- und Werkzeugmaschinen bis zu sehr kleinen Wälzlagern mit einem Durchmesser von 1,8 mm, die in Präzisionsgeräten benötigt werden.

Der Zugwiderstand und die Berechnung der Zugkraft, die für den Einsatz landwirtschaftlicher Maschinen erforderlich ist.

9. Arbeit und Leistung. *Arbeits- und Leistungsangaben aus der Technik. Vergleiche zwischen diesen Daten.*

10. Einfache kraftumformende Einrichtungen. *Hebel, Rolle und Wellrad* bei Hebezeugen, landwirtschaftlichen Maschinen, im Transportwesen, bei Werkzeugmaschinen und so weiter. Anwendung der Hebel beim Bremsen eines Kraftwagens, beim Bedienen der Metallbearbeitungsmaschinen und der Kombines, beim Umstellen des Pflugs und der Mähmaschine aus der Arbeits- in die Transportlage und umgekehrt, beim Heben und Senken der Arbeitsteile des Kultivators, der Mähmaschine und anderer Maschinen.

Beispiele für die Anwendung der Rollen: Hebekräne, Bagger, Heuaufzüge, Verschiebung schwerer Lasten (Versetzen von Gebäuden, Takelarbeiten, Hochziehen eines Schiffes auf den Strand).

Anwendung des Wellrades bei Seilwinden und Hebekränen.

SIEBENTE KLASSE

a) Wärme

1. Wärmeausdehnung der Körper. *Berücksichtigen und Ausnutzen der Wärmeausdehnung der Körper:* Kühlen der Werkstücke bei ihrer mechanischen Bearbeitung, Walzenlager der Eisenbahnbrücken, Dampfkessel, Schienenstöße, Aufziehen der Radkränze auf die Räder der Lokomotiven und der Waggon, Spannen der Fahrdrähte elektrifizierter Eisenbahnlinien.

2. Wärmeausbreitung. a) *Wärmeisolierende Stoffe:* Asbest, Flanell, Filz, Wolle, Stroh, Sägemehl, Hobelspäne, Kork, Watte, Torf. Schlechte Wärmeleiter sind auch Gase und Dämpfe, Glimmer, Hartgummi, Glas, Schnee, Wasser und Erde.

Anwendung der Wärmeisolation bei Gebäuden (Hohlziegel), bei der Aufbewahrung landwirtschaftlicher Produkte in Mieten, bei Rohren der Dampfkraftanlagen zwischen dem Dampfkessel und der Dampfmaschine oder -turbine, bei Rohrleitungen in chemischen Betrieben und in Industrieöfen.

b) *Gute Wärmeleiter*: Metalle.

Schema einer zentralen Warmwasserheizung. Thermosyphonkühlsystem des Kraftwagen- und Traktormotors (hier ist zu untersuchen, in welchen Teilen des Systems Wärmeleitung, -strömung oder -strahlung auftritt).

3. Heizwert der Brennstoffe. a) *Heizwerte fester, flüssiger und gasförmiger Brennstoffe*. Brennstoffarten.

Gasversorgung der Städte und anderer Ortschaften. Gasförmige Brennstoffe in der Nahrungsmittel- und Glasindustrie.

b) *Erdgasleitungen in der UdSSR*: Saratow—Moskau (843 km), Daschawa—Kiew (513 km), Kochtla-Jarwe—Leningrad (203 km), Buguruslan—Kuibyschew (160 km), Kochtla-Jarwe—Tallin (140 km), Stawropol—Moskau (1300 km).

c) *Verwendung von Dieselmotorkraftstoff*. Ausnutzung der Brennstoffe minderer Qualität in Wärmekraftwerken (Torf, Ölschiefer), in Lokomobilen (Holz, Stroh), in Kraftwagen (Generatorgas). Verwendung von Kraftstoff-Luft-Gemischen in Verbrennungsmotoren.

4. Zustandsänderung eines Stoffes bei Erwärmung und Abkühlung.

a) *Schmelzen und Erstarren*. Schmelztemperaturen häufig verwendeter Metalle, Metallegierungen und anderer Stoffe. Beispiele für die Anwendung dieser Stoffe: Aluminium im Flugzeugbau, Weißmetall und Messing für Lager, Kupfer für die Herstellung elektrischer Leitungen, Stahl für Bauarbeiten und im Maschinenbau; Schamotte für Schmelzöfen.

Verschiedene Lote, beispielsweise SnL 30 (30% Zinn und 70% Blei).

b) *Siedetemperaturen verschiedener Stoffe*. Das Prinzip der fraktionierten Destillation des Erdöls.

5. Wärmekraftmaschinen. a) *Dampfkessel*: Wasserrohrkessel, Rauchrohrkessel der Lokomotive. Dampfdruck und Dampfkapazität moderner Kessel. Wärmebilanz eines Kessels.

b) *Dampfmaschine*: Anwendung in Dampflokomotiven, in Elektrizitätswerken geringer Leistung, in Lokomobilen.

c) *Verbrennungsmotor*: Zylinder und Kolben, Kraftstoffzufuhr, Zündkerze; die Übertragung der Bewegung vom Kolben auf die Räder (Motorrad, Kraftwagen, Traktor, selbstfahrende Kombi), auf den Flugzeugpropeller, auf die Schiffsschraube und auf die Welle des Generators (Elektrizitätswerk). Wärmebilanz des Kraftwagenmotors.

b) Elektrizität

1. Elektrische Leitfähigkeit. a) *Gute elektrische Leiter*: Metalle und Kohlenstoff. Kupferleiter für die elektrische Beleuchtung sowie für die Fahrdrähte der Straßenbahn und der elektrifizierten Eisenbahnstrecken; Kupfer- oder Aluminiumadern in Kabeln für die Stromübertragung.

b) *Isolationsmaterialien*: Hartgummi, Glas, Porzellan, Marmor, Glimmer, Asbest, Gummi, Gewebe, Pappe, Emaille, trockenes Holz, verschiedene

Plaste, Öl, Petroleum, Terpentin. Isolierrollen, Isolatoren; Hängeisolatoren für elektrische Hochspannungsleitungen.

2. Stromversorgung. a) *Parallelschaltung der Stromverbraucher bei Netzanschluß:* Glühlampen, elektrische Heizgeräte (Kocher, Bügeleisen, Lötkolben) und Elektromotoren. Schaltung der Beleuchtung in einem Straßenbahnwagen, einem Oberleitungsbus oder einem Eisenbahnwagen.

b) *Anwendung der Akkumulatoren:* In Elektrizitätswerken, in Kraftfahrzeugen für die Zündung und die Beleuchtung, in Unterseebooten zum Antreiben der Elektromotoren; für die Beleuchtung in Bergwerken und in Eisenbahnwagen; für das Fernmelde- und Rundfunkwesen. Die Schaltung der Akkumulatoren beim Aufladen. Die Kapazität der Akkumulatoren.

3. Stromstärke, Spannung und Widerstand. a) *Stromstärken und Spannungen,* die in der Industrie, in der Landwirtschaft, im Post- und Fernmeldewesen sowie im Transportwesen auftreten. Materialien für die Herstellung von Widerständen.

b) *Verschiedene Widerstände:* Schiebewiderstände für Laborarbeiten, Anlaßwiderstände für Elektromotoren. Schicht-(Karboid)-Widerstände. Flüssigkeitswiderstände.

4. Elektrische Energie und Leistung. a) *Aufbau elektrischer Heizgeräte:* Kocher, Bügeleisen, Teekessel, Heizofen. Ausführliche Behandlung eines Heizgeräts. Das Schaltschema eines Heizgeräts mit zwei Schaltstufen.

b) *Anwendung der elektrischen Heizung* in der Viehzucht (Futterdämpfer, Heißwasserbereitung und Brutschränke) und in der Pflanzenzucht (Treibhäuser und Frühbeete).

Widerstandsöfen.

Aufbau der Glühlampe mit Heizwendel.

Beispiele für die Stromstärken elektrischer Heizgeräte und Glühlampen.

c) *Zubehör für die elektrische Beleuchtung:* Lampenfassung, Schalter, Steckdose und Sicherung.

Beispiele für die elektrische Leistung verschiedener Geräte, Anlagen und Motoren.

5. Elektromagnetische Erscheinungen. a) *Elektromagnet:* Elektrische Klingel, Elektrokrän und Magnetspanntisch der Schleifmaschinen. Reinigung verschiedener Streukörper (beispielsweise Korn) von Eisenteilchen und Reinigung des Saatguts von Unkrautsamen. Aufbau des einfachsten elektromagnetischen Telegrafen. Magnetzündung beim Verbrennungsmotor.

b) *Anwendung der Elektromotoren im Transportwesen:* Straßenbahn, Oberleitungsbus, Elektrolok, U-Bahn, Drahtseilbahn.

c) *Energieversorgung:* Umspannen des Stroms und seine Übertragung vom Kraftwerk zum Verbraucher. Berechnung des ökonomischen Nutzens einer solchen Übertragung (beispielsweise bei der Übertragung einer Leistung von 1000 kW und einem Widerstand der Doppelleitung von 50 Ω).

Erfolge und Perspektiven der Elektrifizierung der UdSSR an Beispielen aus der Industrie, der Landwirtschaft, dem Transportwesen und anderen Zweigen der Volkswirtschaft.

ACHTE KLASSE

Mechanik

1. Gleichförmig geradlinige Bewegung. a) *Verschiedene Beispiele für Relativbewegungen* zwischen einem Werkzeug und einem Werkstück bei Metallbearbeitungsmaschinen: Hobel-, Schleif-, Fräs- und Bohrmaschinen. Beispiele für die Relativität der Bewegung bei Transporteinrichtungen und landwirtschaftlichen Maschinen (zum Beispiel befinden sich bei einer Pflanzmaschine die Setzlinge in bezug auf die Kette des Setzbandes in Ruhe).

b) *Grafische Darstellung* der gleichförmigen Bewegung für einen bestimmten Weg, beispielsweise bei einer Transporteinrichtung, einer Rolltreppe, einem Zug, einer Straßenbahn und einem Kraftwagen. Grafische Lösung der Aufgaben über die gleichförmige Bewegung von Transporteinrichtungen. Bestimmung der Geschwindigkeit aus dem Weg-Zeit-Diagramm und des Weges aus dem Geschwindigkeit-Zeit-Diagramm. Lesen eines Bildfahrplans (grafischer Fahrplan) der Eisenbahn.

Beispiele für Schnittgeschwindigkeiten, die auf Drehmaschinen erreicht werden. Das Ringen der Neuerer in der Produktion um die weitere Erhöhung der Schnittgeschwindigkeiten für Metalle.

2. Gleichmäßig beschleunigte Bewegung. *Grafische Darstellung* des Geschwindigkeit-Zeit- und des Weg-Zeit-Gesetzes der gleichmäßig beschleunigten Bewegung, beispielsweise anhand des Anfahrens eines Kraftwagens. Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit aus den grafischen Darstellungen. Beispiele für Beschleunigungen bei Transportfahrzeugen und -einrichtungen beim Anfahren und Abbremsen.

3. Trägheit, Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte. a) *Trägheitswirkung* beim Anfahren und Anhalten verschiedener Fahrzeuge. Die Bedeutung des Wechselgetriebes für Kraftfahrzeuge.

b) *Reibung*: Dienstgewicht und Zugkraft einer Dampflokomotive. Berechnung der Zugkräfte von Fahrzeugen. Anhand einer schematischen Darstellung ist zu zeigen, an welchen Stellen des Kraftwagens Reibung auftritt (Reibung der Räder auf dem Boden, der Karosserie in der Luft, in den Übertragungsmechanismen und so weiter). Die Kupplungsscheibe im Kraftwagen. Legierungen mit geringer Reibung. Die Gleitreibung beim Bremsen der Fahrzeuge (zum Beispiel die Wirkungsweise der Kraftwagenbremsen).

Ersetzen der Gleitreibung durch die Rollreibung. Ausnutzung der unterschiedlichen Roll- und Gleitreibung der Kultursamen und deren Beimengungen beim Schrägband-Ausleser (Stoppelauslesemaschine).

Reibungskoeffizienten der Haft-, Gleit- und Rollreibung.

Das Gleichgewicht der Kräfte bei der gleichförmigen Bewegung der Fahrzeuge.

c) *Beispiele*, die für Anwendungsaufgaben geeignet sind: Kräfte, die am Ausleger eines Krans und bei anderen Hebezeugen und Bodenbearbeitungsmaschinen angreifen; Kräfte, die auf die Pleuel- und Kolbenstange des Kurbeltriebs einer Dampfmaschine oder eines Verbrennungsmotors einwirken.

Heben einer Last mit einer Schrotleiter. Bremsen beim Bergabwärtsfahren. Ausnutzung der Trägheit eines schnellfahrenden Kraftwagens beim Bergaufwärtsfahren.

Wirkung des Keils bei Maschinenwerkzeugen (Drehmeißel, Bohrer, Fräser), bei landwirtschaftlichen Bodenbearbeitungs- und Erntemaschinen (Pflug, Kultivator, Mähmaschine) und bei Erdarbeiten (Schrapper, Planier-raupe). Kräfte, die auf den Drehmeißel einwirken.

Addition paralleler Kräfte, die am Kopplungsbalken eines Traktors angreifen; Berechnung der Zugkraft eines Traktors.

d) *Modelle und Aufgaben für die Zerlegungen der Kräfte* in parallele Komponenten: Druck eines Deckenbalkens auf die Wände, eines Brückenhauptträgers auf die Pfeiler, eines Gebäudeteiles auf eine Säule, eines Brückenkranes auf die Führungsschienen. Berechnung des Achsdrucks eines Kraftwagens, einer Dampflokomotive oder des Fahrgestells eines Turmdrehkrans.

Gewährleistung der Standfestigkeit eines Kraftwagens an einem Bergabhang; die Standfestigkeit eines Hebezeugs oder eines Transportfahrzeugs (zum Beispiel eines Kippers), einer landwirtschaftlichen Maschine (zum Beispiel eines Höhenförderers).

e) *Beispiele für die Anwendung des Hebels bei Handwerkzeugen*: Schraubenschlüssel, Scheren, Zangen und andere. Hebel der Hand- und Fußbremse des Kraftwagens; Steuerhebel beim Traktor und bei der Kombine, Hebel zum Heben und Senken der Schneideinrichtungen von Erntemaschinen; die Ausnutzung von Hebeln im Flugzeug beim Höhen- und Seitenruder.

4. Kraft, Masse und Beschleunigung. *Beschleunigte Bewegung* der Transportfahrzeuge und der Hebezeuge beim Anfahren und Abbremsen. Bedeutung der Bremsvorrichtungen beim Heben der Lasten mit Hebezeugen.

Auf Grund des zweiten Newtonschen Gesetzes ist zu erläutern, wie die Sortierung und Reinigung des Saatguts durch Windeinwirkung (Gebläse) erfolgt und weshalb Körper, die bei der Arbeit starken Stößen ausgesetzt sind, massiv gebaut werden müssen (Ambosse).

5. Wirkung und Gegenwirkung. a) *Anwendungen des dritten Newtonschen Gesetzes*: Schlag eines Hammers auf einen Amboß, Wechselwirkung zwischen dem Drehmeißel und dem bearbeiteten Werkstück auf der Drehmaschine, zwischen den Rädern der Lokomotive und den Schienen, zwischen den Walzen des Walzwerks und des Walzrohlings, zwischen der Stanze und dem entsprechenden Werkstück, zwischen der Werkzeugmaschine und dem

Fundament, zwischen der Trosse und dem Haken des Hebekrans, zwischen der Schiffsschraube und dem Wasser, zwischen dem Propeller und der Luft, zwischen den Flügeln eines Windrads und der Luftströmung.

b) *Reaktionsprinzip*: Strahlmaschine, Rakete, Francismaschine, Káplanmaschine. Die Reaktionswassermaschinen der sowjetischen Produktion.

6. Mechanische Energie (siehe Seite 46 bis 52).

NEUNTE KLASSE

a) Mechanik

1. *Drehbewegung*. a) *Beispiele für Drehbewegung*: Räder und Wellen in Maschinen; Luftschrauben der Flugzeuge, Schiffsschrauben der Schiffe, Windräder der Windkraftanlagen; Gebläse, Wellräder und Dreschvorrichtungen an Kombines.

b) *Verschiedene Drehzahlen*, die in der Technik auftreten.

c) *Wirkung der Fliehkraft* beim Fliehkraftregler der Dampfmaschine und des Verbrennungsmotors, bei der Trennung von Flüssigkeiten mit unterschiedlicher Dichte (Zentrifuge), bei der Zentrifugalpumpe, beim Tachometer und beim Schleudergußverfahren. Kräfte, die am Umfang der Schwungräder und an den Schaufeln der Dampfturbinen angreifen.

d) *Übertragungsarten der Drehbewegung* mit Ausnutzung der Reibung und mit Zahnrädern (siehe Seite 53 bis 64).

2. *Schwingungen und Wellen*. Schall. a) *Beispiele für Schwingungsbewegungen*: Schaukeln eines Schiffes, Schwingen des Uhrpendels, des Unterbrechers in der Klingel, der Membrane des Telefons, der Vibratoren zum Verdichten des Betons, der Federn in Fahrzeugen. Ausnutzung der Schwingungen des Pendels bei Uhren und bei der gravimetrischen geologischen Erkundung. Die Schwingungen von Brücken und Werkzeugmaschinenfundamenten sowie Maßnahmen zur Vermeidung der Resonanz bei diesen. Frequenzmesser.

Prinzip der seismischen geologischen Erkundung der Bodenschätze (Ausnutzung der Reflexion von Wellen). Die Bedeutung dieser Methode für die geologische Erkundung im Meer.

b) *Schall*: Echolot. Mechanische Schallregistrierung. Wiedergabe des aufgezeichneten Schalls mit elektromagnetischem Tonabnehmer und Lautsprecher.

Anwendung des Ultraschalls beim Echolot, zur unterseeischen Nachrichtenübermittlung und zur Fehlersuche in Werkstücken.

3. *Strömungslehre*. a) *Strömung*: Wirkungsweise des Vergasers beim Ottomotor. Injektor für die Speisewasserversorgung eines Dampfkessels.

b) *Strömungswiderstand*. Angleichung an Stromlinienform bei Fahrzeugen (Personenkraftwagen, Triebwagen, Flugzeuge, Schiffe). Windkanal. Kräfte, die auf ein Flugzeug beim Aufsteigen, während des horizontalen Fluges und

beim Gleiten einwirken. Seiten- und Höhenruder. Kräfte, die auf einen Fallschirm einwirken. Die Wirkungsweise der Luftschraube. Wasserturbine. Windrad.

b) Wärme

1. Wärme und Arbeit. *Energieerhaltungssatz* am Beispiel der Dampfmaschine und des Verbrennungsmotors (unter Berücksichtigung der Reibung und der Verluste durch Wärmeleitung, -strömung und -strahlung). Ausnutzung der Reaktionswärme des Thermits (Gemisch aus Aluminium und Eisenoxyd in Pulverform) zum Schweißen von Leitungen, Schienen und Metallkonstruktionen.

2. Wärmeausdehnung der Körper. a) *Wirkungsweise des Bimetallschalters*: Thermostat, Sicherungsautomat, Brutapparat, automatischer Feuermelder und so weiter. Aufbau des Thermograpen.

b) *Ausdehnung fester Körper.* Verbindung von Metallplatten durch Warmnieten. Entwicklung von Metallegierungen für die Glühlampen- und die Röhrenherstellung, die den gleichen Ausdehnungskoeffizienten wie die verwendeten Glassorten besitzen (Einsparung von Platin). Temperaturfugen in Staudämmen aus Stahlbeton.

Abkühlung der Werkstücke, die auf Dreh- und Fräsmaschinen bearbeitet werden. Berücksichtigung der Wärmeausdehnung bei der Arbeit mit Meßinstrumenten (Stahlmaßstäbe, Prüflöhren).

3. Eigenschaften der Gase. *Verdichter* (Kompressor). Beispiele für die Ausnutzung der Preßluft in pneumatischen Hämmern, in Sandstrahlgebläsen zur Reinigung der Werkstücke, in Spritzpistolen zum Auftragen von Metall und Farbe auf Werkstücke, in Preßlufthämmern zum Einrammen von Pfählen usw. (Es ist nur die Wirkungsweise des Verdichters und des Preßlufthammers zu behandeln; die anderen Anwendungen sind zu erwähnen.)

Wirkungsweise der Druckluftbremse. Ausnutzung der Eigenschaften komprimierter Luft in den Schläuchen der Fahrzeugreifen.

Gasblasen in Gußstücken. Ausnutzung der Preßluft in Unterseebooten.

4. Eigenschaften der Flüssigkeiten. *Schmierstoffe*: Maschinenöl, Staufferfett, Walfett, Masut und andere.

Die Erscheinung des Benetzens beim Anstreichen von Metallerzeugnissen. Prinzip der Flotation bei der Erzaufbereitung.

Kapillarität der Baumaterialien (Kalk, Sand, Lehm) und des Bodens. Vergrößerung und Verringerung der Kapillarität des Bodens bei der Bearbeitung mit landwirtschaftlichen Maschinen.

Wirkungsweise des Dochtölers bei der selbsttätigen Schmierung.

5. Eigenschaften der festen Körper. *Beispiele für verschiedene Deformationsformen in der Technik*: die Ausdehnung von Stahltrossen und Ketten bei Aufzügen; das Zusammenpressen von Federn, Säulen und Gebäude-

fundamenten; die Scherung bei Bolzen und Nieten; die Durchbiegung von Balken, Schienen und Schwellen; die Torsion der Achsen und Wellen bei Motoren und Maschinen sowie der Schrauben.

Verwendung elastischer Körper im Bauwesen, im Maschinenbau und bei der Eisenbahn am Beispiel der oben genannten Deformationen der Werkstücke.

6. Aggregatzustandsänderungen. a) *Schmelzen und Erstarren*: Beispiele für das Gießen: Einfüllen von Metall in Formen und Kokillen, Schalenhartguß. Ständige Eislager (Dauerfrostboden).

b) *Ausnutzung von Legierungen*: Weißmetall für Lager, Hartmetalle für Drehmeißel und Fräser, magnetische Legierungen für Magnetzünder der Verbrennungsmotoren, die leichte, aber feste Legierung Duraluminium für den Flugzeugbau, Lote zum Löten der Metalle und andere.

c) *Verdampfen und Kondensieren*: Sieden unter erhöhtem Druck: Schnellkochtöpfe, Dampfkessel.

Sauerstoffgewinnung zum Schweißen und Schneiden von Metallen.

7. **WärmeKraftmaschinen.** a) *Prinzipieller Aufbau und Wirkungsweise der Dampfturbine*: Der Bau von Hochleistungsdampfturbinen in der UdSSR. Bedeutung der Turbinen für die Energiewirtschaft. Die Dampfkraftanlage in der industriellen und in der landwirtschaftlichen Produktion. Energiebilanz der WärmeKraftwerke.

b) *Aufbau und Wirkungsweise der Verbrennungsmotoren*: Das Anwachsen des Kraftwagen- und Traktorenparcs in der sozialistischen Landwirtschaft. Die Verwendung von Dieselmotoren in Kraftwagen und Diesellokomotiven.

c) *Prinzipielle Wirkungsweise der Strahltrieb- und Vergleich dieses Triebwerks mit dem Verbrennungsmotor*. Ausnutzung des Strahltriebwerks in der Luftfahrt und die Möglichkeit der Anwendung von Raketen für kosmische Flüge.

d) *Vergleich der Wirkungsgrade verschiedener WärmeKraftmaschinen*: Kolbendampfmaschine, Dampfturbine, Ottomotor, Dieselmotor und Strahltriebwerk.

e) *Fernheizung*. Fernheizdampfversorgung von Industriebetrieben (zum Betrieb von Hämmern, Pressen, für technologische Prozesse) und der landwirtschaftlichen Produktion (beispielsweise zum Futterdämpfen, für Treibhäuser und so weiter). Die Verbesserung der sanitär-hygienischen Lebensbedingungen der Werktätigen durch die Fernheizung; Brennstoffeinsparung.

ZEHNTE KLASSE

a) Elektrizität

1. **Elektrische Ladungen und elektrisches Feld.** a) *Beispiele für die Ausnutzung eines elektrischen Feldes in der Industrie*: Entstaubung der Luft und Entfernung unverbrannter Teilchen aus den Feuerungsabgasen durch Elektrofilter.

b) *Kondensatoren* konstanter und veränderlicher Kapazität, die in der Rundfunktechnik angewendet werden (einzelne Beispiele).

2. Gleichstrom. a) *Elektronenröhren* in Gleichrichteranlagen (Beispiele: Rundfunkempfänger, Funkhaus).

b) *Ausnutzung der Elektrolyse* für metallische Überzüge (Vernickeln, Verchromen, Verzinken, Verkupfern usw.), elektrolytische Polierung metallischer Erzeugnisse, Gewinnung von reinem Kupfer aus einer Lösung und von Aluminium aus einer Schmelze. Erzeugung von Oxydfilmen auf Aluminium mit Hilfe der Elektrolyse und Ausnutzung dieser Erscheinung im Elektrolytkondensator und im elektrolytischen Gleichrichter.

c) *Verschiedene Anwendungen*: Elektro-erosive Metallbearbeitung. Elektrisches Schneiden der Metalle durch Lichtbogen. Verminderung der Koronaentladung bei Hochspannungsleitungen durch Hohlseile.

Ausnutzung der Stromwärme bei elektrischen Heizgeräten und beim Lichtbogenschweißen.

Benutzung des Thermoelements zur Temperaturmessung in Heiz- und Schmelzöfen.

3. Magnetfeld und elektromagnetische Induktion. Anwendung des Elektromagneten in automatischen Anlagen: elektromagnetisches Relais als Schalter zur Strom- und Spannungsbegrenzung, für die automatische Blockierung, beim Schütz.

Elektromagnetische Methode der Erzaufbereitung und Reinigung des Saatguts von Unkrautsamen. Magnetpulver-Verfahren bei der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung.

Aufbau des elektromagnetischen und elektrodynamischen Lautsprechers. Schaltung des Mikrofons und Telefons im Telefonhörer. Schaltschema für zwei Telefone. Prinzip des Magnettonverfahrens.

Wirkungsweise der Zündspule bei der Batteriezündung eines Kraftwagens (in dieser Spule wird eine Spannung von 6 V oder 12 V auf 15000 V hochtransformiert).

Verfahren zur Änderung der Selbstinduktion von Spulen, Änderung der Windungszahl und Anwendung von Kernen; Beispiele aus der Radiotechnik.

4. Wechselstrom. a) *Elektromotoren*: Leistungen verschiedener Wechselstrommotoren. Anschluß der Verbraucher an das Drehstromnetz in Stern- oder Dreieckschaltung. Anwendung der Motoren als Einzelantriebe für Werkzeugmaschinen, landwirtschaftliche Maschinen und Baumaschinen; Metallbearbeitungsmaschinen; Elektrotraktor, Elektrodreschmaschine; Bagger, Elektrowinde bei Hebekränen, Saugbagger und so weiter.

b) *Energieversorgung*: Transformatoren in Umspannwerken, in der Industrie und in der Landwirtschaft. Beispiele für Spannungen, wie sie in der Praxis vorkommen. (Motoren von Werkzeugmaschinen und Elektrotraktor; Beleuchtung und andere).

Umwandlung der Energie und Erzeugung von Elektroenergie in Wärme-, Wasser- und Windkraftwerken.

Erfolge und Perspektiven der Elektrifizierung der UdSSR.

5. Elektromagnetische Schwingungen und Wellen: Ausnutzung des Funks in der Industrie, Landwirtschaft und im Transportwesen, Anwendung der Hochfrequenz in der Industrie (beispielsweise zum Härten von Stahl'zeugnissen und zum Trocknen von Holz mit Hochfrequenzströmen), in der Meteorologie, Navigation, Automation sowie der Steuerungs- und Regelungstechnik.

Entwicklung des Rundfunks in der UdSSR.

b) Optik und Atomphysik

a) *Lichtausbreitung:* Zweckmäßige Beleuchtung an Arbeitsplätzen und im Schulgebäude.

b) *Reflexion und Brechung des Lichts:* Anwendung des Hohlspiegels in Projektionsgeräten und Scheinwerfern.

c) *Optische Geräte:* Anwendung des Mikroskops in der Meßtechnik und bei der Untersuchung der Struktur der Metalle.

d) *Welleneigenschaften des Lichts:* Anwendung der Infrarotstrahlung zum Trocknen von Lackanstrichen. Ausnutzung des Spektrometers zur Analyse von Metallen und Legierungen. Verwendung von Röntgenstrahlen für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung.

e) *Wirkung des Lichts:* Verwendung der Fotozelle im Fotorelais, in Anlagen zur automatischen Zählung von Fertigerzeugnissen, für den Arbeitsschutz, zur Kontrolle von Produktionsprozessen, in der Steuerungs- und Regelungstechnik, beim Tonfilm und so weiter.

f) *Aufbau des Atoms:* Radioindikatoren in der Industrie zum Studium technologischer Prozesse (Untersuchung verschiedener Legierungen und Prozesse, Diffusion von Metallen, Verschleiß von Maschinenteilen) und in der Biologie zur Untersuchung physiologischer Prozesse in Pflanzen und bei Tieren.

Anwendung der Kernenergie für friedliche Zwecke (Kernkraftwerke, Großsprengungen, Kernantrieb für Schiffe). Die Inbetriebnahme des ersten Kernkraftwerks der Welt in der Sowjetunion.

2. Verzeichnis von Demonstrationsversuchen, die praktische Anwendungen im Physikunterricht zeigen

SECHSTE KLASSE

Verfahren zur Längenmessung mit Lineal und Meßband. Methoden zur Zeitmessung.

Verfahren zur Wägung von Körpern auf Hebelwaagen.

Demonstration elastischer, plastischer und spröder Körper.

Kraftmessungen mit der Federwaage.
Benutzung des Lots, der Wasserwaage und der Dosenlibelle.
Abhängigkeit des Drucks fester Körper von der Stützfläche.
Modell einer Wasserleitung.
Aufbau und Wirkungsweise einer Schleuse (Modell und Film).
Versuch, der das Heben eines gesunkenen Schiffes demonstriert.
Aufbau und Wirkungsweise von Wasserpumpen (Saug- und Druckpumpen).
Aufbau und Wirkungsweise der Kolbenluftpumpe.
Kugel- und Rollenlager.
Verringerung der Reibung durch Schmieren.
Gleichgewicht der Kräfte am Hebel.
Wirkungsweise der festen und der losen Rolle.
Wirkungsweise des Wellrads.

SIEBENTE KLASSE

Aufbau und Wirkungsweise des Kühlsystems im Kraftwagen oder Traktor (Anschauungstafel).
Umwandlung von Wärme in Arbeit (Dampfmaschine).
Wirkungsweise der Dampfmaschine (Schnittmodell und funktionstüchtiges Modell).
Wirkungsweise der Dampfturbine.
Wirkungsweise des Verbrennungsmotors (Modell).
Umgang mit Stromquellen (Stromversorgungsgerät, galvanisches Element und Akkumulator).
Schalten eines elektrischen Stromkreises.
Einschalten eines Amperemeters in einen Stromkreis.
Aufbau und Wirkungsweise eines Schiebe- und eines Kurbelwiderstandes.
Parallel- und Reihenschaltung von Glühlampen beim Anschließen an das Netz.
Anschalten elektrischer Heizgeräte an das Netz (Teekessel, Kocher, Lötkolben).
Durchbrennen von Schmelzsicherungen bei Kurzschluß.
Magnetisieren von Stricknadeln durch Strom und Magnete.
Aufbau und Wirkungsweise des Elektromagnets.
Aufbau und Wirkungsweise der elektrischen Klingel und des Telegrafen.
Wirkungsweise des Elektromotors.
Erzeugung von Wechselstrom mit der magnetelektrischen Maschine.
Aufbau und Wirkungsweise des Transformators.
Übertragung von Elektroenergie über eine größere Entfernung mit Hilfe eines Transformators.

ACHTE KLASSE

Gleichgewicht an der schiefen Ebene.
Kräftezerlegung am Ausleger eines Krans.
Rückstoßwirkung einer ausfließenden Strömung.

Ausnutzung der schiefen Ebene, der Schraube und des Keils.
Bestimmung des Schwerpunkts ebener Figuren von verschiedener Form.
Stabile und instabile Lage eines geneigten Prismas.

NEUNTE KLASSE

Verschiedene Übertragungsformen der Drehbewegung.
Versuche zur Fliehkraft (Fliehkraftregler, Zentrifuge).
Aufzeichnung der Schwingungen eines Pendels.
Schallaufzeichnung und -wiedergabe bei einer Schallplatte (Anschauungstafel).
Aufbau und Wirkungsweise der Wasserstrahlpumpe, des Vergasers und des Zerstäubers.
Abhängigkeit des Strömungswiderstands vom Querschnitt, von der Geschwindigkeit und von der Form eines Körpers.
Wirkungsweise der Flugzeugtragfläche und des Propellers.
Modell einer Wasser- und einer Windturbine.
Wirkungsweise eines Bimetallschalters.
Hydraulische Presse.
Ausnutzung der plastischen Eigenschaften der Metalle in der Technik (Anschauungstafeln).
Ausnutzung der elastischen Eigenschaften der Metalle in der Technik (Anschauungstafel).
Funktionstüchtiges Modell einer Dampfmaschine und -turbine. Schnittmodell eines Verbrennungsmotors.
Funktionstüchtiges Modell eines Strahltriebwerks.
Wärmekraftwerk (Anschauungstafel).

ZEHNTE KLASSE

Elektrisches Schweißen (Lichtbogen- und Widerstandsschweißen).
Shunt und Vorwiderstand.
Ausnutzung von Bimetallstreifen zur Temperaturmessung.
Magnetisieren von Eisen mit Hilfe von Spulen.
Aufbau und Wirkungsweise des elektromagnetischen Relais.
Aufbau und Wirkungsweise des Mikrofons, Telefons und Lautsprechers.
Wechselstromgenerator.
Erzeugung des Dreiphasenstroms.
Drehstrommotor.
Aufbau und Wirkungsweise des Funkeninduktors.
Magnetzündung.
Transformieren von Strom.
Wechselstromgleichrichter (Elektronenröhre).
Erzeugung ungedämpfter Schwingungen.
Braunsche Röhre (Anschauungstafel).
Aussendung und Empfang elektromagnetischer Wellen.

Aufbau und Wirkungsweise des einfachsten Rundfunkempfängers.
 Aufbau und Wirkungsweise des Mikroskops, Teleskops und Prismen-
 fernrohrs.
 Haupteigenschaften der Röntgenstrahlen.
 Wirkungsweise der Fotozelle.
 Fotorelais.
 Tonfilmaufnahme und -wiedergabe (Anschauungstafel). Lumineszenz-
 leuchten.

3. Praktische Kenntnisse und Fertigkeiten, die die Schüler im Physik- unterricht erwerben sollen

SECHSTE KLASSE

1. Längenmessungen mit dem Lineal und dem Meßband.
2. Bestimmung des Fassungsvermögens eines Gefäßes und des Volumens eines festen Körpers mit dem Meßzylinder.
3. Wägen eines Körpers mit der Hebelwaage.
4. Berechnung des Körpergewichts auf Grund des Volumens und der Wichte.
5. Anwendung des Lots, der Wasserwaage und der Dosenlibelle.
6. Kraftmessung mit der Federwaage.
7. Berechnung des Drucks aus der Kraft und der Stützfläche.
8. Ablesen des Drucks an einem Barometer und einem Manometer.
9. Berechnung des Kraftgewinns bei einfachen kraftumformenden Einrichtungen.
10. Berechnung der Arbeit eines Motors auf Grund seiner Leistung.

SIEBENTE KLASSE

1. Temperaturmessung mit dem Thermometer.
2. Zeichnen grafischer Darstellungen, die die Temperaturabhängigkeit von der Erwärmungszeit veranschaulichen.
3. Bestimmung des Wirkungsgrads eines Heizgerätes.
4. Auffinden der Hauptteile einer Dampfmaschine an einem Modell (Zylinder, Kolben, Kolbenschiebersteuerung, Schwungrad und so weiter).
5. Auffinden der Hauptteile eines Verbrennungsmotors an einem Modell.
6. Befolgen der Sicherheitsvorschriften beim Umgang mit Wärmequellen und elektrischen Anlagen.
7. Lesen der einfachsten elektrischen Schaltbilder, die die Schaltzeichen für Stromquellen, Leitungen, Widerstände, Sicherungen, Spulen, Generatoren, Elektromotoren und Elektronenröhren enthalten.
8. Aufbau eines elektrischen Stromkreises anhand eines Schaltbildes, der aus einer Stromquelle (galvanisches Element), aus Leitungen, aus Lampen und aus einem Widerstand besteht.

9. Montage einer Beleuchtungseinrichtung (Fassung, Schalter, Sicherung, Steckdose und Stecker).
10. Einschalten eines Amperemeters in einen Stromkreis und Ablesen der Stromstärke.
11. Einschalten eines Voltmeters in den Nebenschluß eines Stromkreises und Ablesen der Spannung.
12. Messung des Widerstands von Leitern.
13. Anwendung von verschiedenartigen Widerständen.
14. Auswählen von Elektronenröhren für verschiedene Spannungen.
15. Benutzung elektrischer Heizgeräte.
16. Bestimmung der elektrischen Leistung des Stromes, die von einer Elektronenröhre oder einem Gleichstrommotor aufgenommen wird.
17. Bestimmung der Pole eines Permanent- und eines Elektromagneten.
18. Schalten eines Stromkreises, der ein galvanisches Element, eine elektrische Klingel und einen Klingelknopf enthält; Regulierung der Klingellautstärke.
19. Zusammenbau eines Elektromotors aus Aufbauteilen.
- 20.* Auffinden der Hauptteile eines Transformators und Arbeiten mit Transformatoren geringer Leistung.

ACHTE KLASSE

1. Messungen mit einer Schieblehre und einer Mikrometerschraube.
2. Zeitmessung mit der Stoppuhr.
3. Anwendung eines Tachometers.
4. Beherrschung der Weg-Zeit- und Geschwindigkeit-Zeit-Diagramme von Bewegungsvorgängen.
5. Grafische und rechnerische Bestimmung der Kräfte, die beispielsweise an einem Dachstuhl oder an einem Ausleger angreifen.
6. Einfache Schwerpunktsbestimmungen und Ändern der Gleichgewichtslagen.
7. Bestimmung des Wirkungsgrades einfacher kraftumformender Einrichtungen.
8. Messung der Leistung eines Motors mit dem Pronyschen Zaum.
9. Auffinden einfacher kraftumformender Einrichtungen (Hebel, Wellrad, Schraube und andere) an einer Maschine (Traktor, Kraftwagen, landwirtschaftliche Maschinen).

NEUNTE KLASSE

1. Ermitteln des Übersetzungsverhältnisses verschiedener Triebe.
2. Kenntnis des Aufbaus und der Wirkungsweise eines Vergasers (Schema oder Modell).

* Die mit einem Stern versehenen praktischen Kenntnisse und Fertigkeiten erlernen die Schüler hauptsächlich in den Arbeitsgemeinschaften.

3. Berechnung der zur Arbeit eines Motors erforderlichen spezifischen Brennstoffmenge (in $g \cdot PS^{-1} \cdot h^{-1}$).
4. Berechnung der Parameter eines gasförmigen Zustands.
5. Berechnung der Zerreißfestigkeit fester Körper.
6. Bestimmung der Luftfeuchtigkeit mit dem Psychrometer.
7. Inbetriebsetzen des Modells einer Dampfmaschine.
8. Einf llen von Kraftstoff, Inbetriebnehmen und Anhalten eines funktionstüchtigen Modells des Verbrennungsmotors.

ZEHNTE KLASSE

1. Bestimmung des Typs elektrischer Meßgeräte auf Grund der Angaben auf der Skale und ihr Verwendungszweck (für Gleich- oder Wechselstrom, Meßbereich und so weiter).
2. Zeichnen des Schaltbildes einer vorliegenden elektrischen Leitung zur Beleuchtung des Klassenzimmers oder einer Wohnung.
3. Montage einer Anlage nach einem vorliegenden Schaltbild (mit Stromverzweigung).
4. Mebereichserweiterung eines Voltmeters durch einen Vorwiderstand.
5. Auswahl eines Widerstands für einen elektrischen Stromkreis.
6. Bestimmung der verbrauchten Energiemenge anhand eines Elektrizit tz hlers und Berechnung der Stromkosten.
7. Bestimmung des Wirkungsgrads eines elektrischen Heizgeräts.
8. Umgang mit Elektromotoren für Gleich- und Wechselstrom und Anschalten der Motoren ans Netz.
- 9.* Montage einer Anlage, die aus einem Generator, einem Transformator und einem Elektromotor besteht.
- 10.* Umgang mit Gleichrichtern.
- 11.* Aufnahme der Kennlinie einer Elektronenröhre.
- 12.* Aufbau eines Rundfunkempfängers aus Aufbauteilen.
13. Bestimmung des Brennpunkts einer Linse.
14. Aufbauen des Modells eines Mikroskops und eines Fernrohrs.
15. Kenntnis des Aufbaus des einfachsten Fotorelais.
16. Umgang mit dem einfachsten Spektralapparat.

4. Hinweise auf deutsche Literatur

Einführung in die Produktionstechnik, herausgegeben von der Hochschule für Ökonomie, Berlin

Band I: Rothhaupt, Meißner, Schenkel, Technologie des Maschinenbaus

Band II: Damerow, Leudert, Technologie der metallurgischen Industrie

Band IV: Schilling, Tischer, Energetik

VEB Verlag Technik, Berlin 1960

ABC der Naturwissenschaft und Technik. 7. Aufl., VEB F. A. Brockhaus Verlag, Leipzig 1960

- Kleine Enzyklopädie „Technik“, Verlag Enzyklopädie, Leipzig 1957
- Schapowalenko, Polytechnische Bildung in der sowjetischen Schule, 2. Aufl., Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1959. (Übersetzung aus dem Russischen)
- Autorenkollektiv, Fachkunde Maschinenschlosser, Teil I und II, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1958
- Shidelew, Maschinenkunde in der 8. bis 10. Klasse der sowjetischen Schule, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1960. (Übersetzung aus dem Russischen)
- Reth, Grundlagen der Elektrotechnik, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1958
- Vehrenkamp, Starkstrom-Installationstechnik, 4. Aufl., Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1958
- Autorenkollektiv, Handbuch für elektrische Maschinen, Fachbuchverlag, Leipzig 1955
- Nell, Starkstromtechnik
 Band I: Theoretische Grundlagen, Meßtechnik, Primär- und Sekundärelemente
 Band II: Elektrische Maschinen, Transformatoren und Stromrichter
 Band III: Schalteinrichtungen und Installationen
 Band IV: Die Anwendung der elektrischen Energie in Industrie, Gewerbe und Verkehr
 Fachbuchverlag, Leipzig 1959
- Wachner, Praktische Schülerarbeiten aus der Elektrotechnik, Diskussionsbeiträge zu Fragen der Pädagogik, Bd. 18, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1959
- Smetanin, Elektrotechnik in der 10. Klasse der sowjetischen Schule, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1959. (Übersetzung aus dem Russischen)
- Autorenkollektiv, Lehrbuch der Landtechnik, Teil I und II, 2. Aufl., Deutscher Bauernverlag, Berlin 1960
- Autorenkollektiv, Landtechnik, Fachkunde für landwirtschaftliche Berufe, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin
- Autorenkollektiv, Grundausbildung Betriebsschlosser für Landmaschinen und Traktoren, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin
- Autorenkollektiv, Fachkunde Betriebsschlosser für Landmaschinen, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin
- Autorenkollektiv, Fachkunde Betriebsschlosser für Traktoren, Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin
- Dähn, Fachkunde Kraftfahrzeugschlosser und Kraftfahrzeughandwerker, 5. Aufl., Volk und Wissen Volkseigener Verlag, Berlin 1959
- Gutmann, „Dampf auf“ — ein Handbuch für Kesselwärter, 3. Aufl., Fachbuchverlag, Leipzig 1956
- Meyer, Windkraft, Fachbuchverlag, Leipzig 1954

- Beiträge in der Zeitschrift „Mathematik und Physik in der Schule“ (Ma u Phy) bzw. „Mathematik, Physik und Chemie in der Schule“ (Ma Phy Che) und „Mathematik und Naturwissenschaften in der neuen Schule“ (Ma u Na), die Beziehungen zu den Ausführungen des sowjetischen Buches besitzen
- Patruschew, Die Vermittlung polytechnischer Bildung im Physikunterricht, Ma u Phy, Heft 11, 1957
- Titze, Physikunterricht und polytechnische Bildung, Ma u Phy, Hefte 9 und 12, 1957; Heft 3, 1958
- Wachner, Beiträge zur Verwirklichung der polytechnischen Bildung im Physikunterricht, Ma u Phy, Hefte 11 und 12, 1956
- Frommann, Zur systematischen Gestaltung des Unterrichtstags in der Produktion in Verbindung mit dem Physikunterricht, Ma u Phy, Heft 1, 1959
- Jahnke, Der Physikunterricht und der Unterrichtstag in der landwirtschaftlichen Produktion, Ma u Phy, Heft 2, 1959
- Krimmling, Die Verbindung des Unterrichtstages in der Produktion mit dem Fachunterricht, Ma u Phy, Heft 2, 1959
- Landow, So verbinde ich den Unterrichtstag in der Produktion mit dem Physikunterricht, Ma u Phy, Heft 1, 1959
- Mischewski, Möglichkeiten des Lernens beim Unterrichtstag in einem Konfektionsbetrieb, Ma u Phy, Heft 12, 1958
- Oppermann, Einige Bemerkungen zur systematischen Gestaltung des Unterrichtstages in der Produktion, Ma u Phy, Heft 1, 1959
- Pensold, Schüleraufträge zur Verbindung des Physikunterrichts mit dem Unterrichtstag in der sozialistischen Produktion, Ma u Phy, Heft 3, 1960
- Siebe, Physikunterricht und Unterrichtstag in der Produktion, Ma u Phy, Heft 5, 1959
- Titze, Vorschlag für einen Besichtigungs- und Exkursionsplan, verbunden mit Hinweisen für Betriebsbesichtigungen, Ma u Phy, Heft 3, 1959
- Weingärtner, Betriebsbesichtigungen im Physikunterricht, Ma u Phy, Heft 6, 1956
- Zitterstein, Hinweise für die Verbindung des Physikunterrichts mit dem Unterricht in der Produktion, Ma u Phy, Heft 12, 1958
- Donner, Die Bedeutung der Reibungskräfte für Triebfahrzeuge, Ma u Phy, Heft 3, 1960
- Heise, Die vorbereitende Behandlung von Werkzeugmaschinen im Physikunterricht, Ma u Phy, Heft 7, 1960
- Oppermann, Die physikalischen Grundlagen der spanlosen Formgebung, Ma u Phy, Hefte 2, 3, 5, 7, 8, 10 und weitere, 1960
- Seidel, Spannvorrichtung und Riemenscheiben im Physikunterricht der 10. Klasse, Ma u Phy, Heft 2, 1959
- Trost, Behandlung des Krans im Physikunterricht des 9. Schuljahres, Ma Phy Che, Doppelheft 7/8, 1953
- Ulrich, Die Kohlenkombine Donbas I, Ma Phy Che, Doppelheft 7/8, 1953

- Achutsin, Der „W. I. Lenin“-Wolga-Don-Kanal, Ma Phy Che, Heft 11, 1952
- Günter, Das Fliegen, Ma u Phy, Heft 5, 1960
- Heise-Schelle, Der Schiffbau in der Deutschen Demokratischen Republik, Ma u Phy, Heft 4, 1960
- Jödicke, Schiffswerft und Physikunterricht, Ma u Phy, Heft 11, 1958
- Tautz, Physik des Segelfluges, Ma Phy Che, Hefte 3 und 5, 1954
- Greiser, Landmaschinenbau und Physikunterricht, Ma u Phy, Heft 12, 1958
- Vöhringer, Der Mährescher, Ma u Phy, Heft 7, 1959
- Abianz, Rückstoßantrieb, Ma Phy Che, Heft 4, 1953
- Schukowski, Die Behandlung der Kolbenmotoren — Ein Beitrag zur polytechnischen Bildung im Physikunterricht der allgemeinbildenden Schule, Ma u Phy, Hefte 3 und 4, 1959
- Wendler, Die moderne Kohlenstaublokomotive, Ma u Phy, Heft 6, 1958
- Deinert, Die elektrische Zugförderung bei der Deutschen Reichsbahn, Ma u Phy, Heft 3, 1957
- Manthei, Die Behandlung des Transformators als ein Beitrag zur polytechnischen Bildung, Ma u Phy, Hefte 7 und 8, 1959
- Roth, Aufbaugerät zur Demonstration des Dreiphasenwechselstroms, Ma u Phy, Hefte 9 und 10, 1960
- Sasonow, Anwendung der Elektrizität in der sozialistischen Landwirtschaft, Ma u Na, Heft 4, 1951
- Wunderlich, Die Entwicklung der Elektro-Energiewirtschaft in der Deutschen Demokratischen Republik, Ma u Phy, Heft 11, 1959
- Fainboim, Ein Kernreaktor für Demonstrationszwecke, Ma u Phy, Heft 12, 1957
- Heise-Schelle, Der Eisbrecher „Lenin“, Ma u Phy, Heft 10, 1960
- Huth, Zweimal Atomkernenergie, Ma u Phy, Heft 6, 1955
- Lorf, Friedliche Anwendung der Atomkernenergie, Ma u Phy, Heft 7, 1956
- Lösche, Kernreaktoren — die Energiequellen der Zukunft, Ma u Phy, Heft 1, 1956
- Mucke, Die sowjetische Atomenergetik, Ma u Phy, Heft 10, 1957
- Held, Ein Vorschlag zur Behandlung der Betriebsmeß-, Steuerungs- und Regelungstechnik in der zehnten Klasse, Ma u Phy, Heft 4, 1960
- Tille, Demonstrationsversuche zur Steuerungs- und Regelungstechnik, Ma u Phy, Heft 4, 1960
- Wolf, Hydraulische Regelanlagen, Ma u Phy, Heft 5, 1960
- Redaktion, Pionierleistungen der sowjetischen Technik, Ma u Phy, Heft 10, 1957
- Terpigorow, Erfolge und Aufgaben der Sowjetwissenschaft bei den Großbauten des Kommunismus, Ma Phy Che, Heft 1, 1953