

Einleitung.

Den Angelpunkt der modernen Technik bildet die *Maschine*. Im physikalischen Sinne versteht man unter einer Maschine jede Anordnung, die es ermöglicht, irgendeine Kraft nach Angriffspunkt, Richtung oder Größe umzuwandeln, wie dies gerade dem jeweiligen Arbeitszweck entspricht. Auch mehrere dieser drei Faktoren gleichzeitig können geändert werden, jedoch bleibt in allen Fällen die „goldene Regel“ der Mechanik in Geltung, wonach das, was an Größe der Kraft gewonnen wird, auf der andern Seite an Hubhöhe oder Schnelligkeit der Leistung wieder verloren geht, und umgekehrt.

Als *einfache* Maschinen bezeichnet man *Hebel, Rolle, schiefe Ebene, Keil* und *Zahnrad*, denn sie lassen sich nicht in noch einfachere Maschinen zerlegen. Alle sonstigen Maschinen sind Verbindungen der einfachen Maschinen und werden demgemäß *zusammengesetzte* Maschinen genannt.

Die Technik versteht unter einer Maschine eine Verbindung widerstandsfähiger Körper, die so eingerichtet ist, daß mittels ihrer mechanische Naturkräfte gezwungen werden können, unter bestimmten Bewegungen zu wirken. Diese Begriffserklärung der Maschine, die von Reuleaux herrührt, ist von anderen Gelehrten angefochten und geändert worden; jedenfalls ist es schwer, eine präzise und für sämtliche Maschinen allgemeingültige Definition in wenige Worte zu fassen.

Was die Allgemeinheit „Kraft“ nennt, bezeichnet die Technik als *Energie*, und sie versteht darunter die Fähigkeit, Arbeit zu leisten. Zieht man eine Gewichtsuhr auf, so bleibt das Uhrgewicht anscheinend in demselben Zustand, aber es hat die Fähigkeit gewonnen, beim Herabsinken Arbeit zu leisten, d. h. es ist in ihm Arbeitsfähigkeit aufgespeichert worden. Die Energie, die es beim Aufziehen, d. h. durch die Muskelarbeit der aufziehenden Person, gewonnen hat, nennt man *Energie der Lage*. Ein Wasserrad, das durch das Gewicht des in die Schaufeln einfließenden Wassers in Drehung versetzt wird und Arbeit leisten kann, verdankt dies der Energie der Lage, die in dem Wasser aufgespeichert ist. Befindet sich das Uhrgewicht am Boden, und langt das fließende Wasser im Meer an, so sind ihre Energien vernichtet, da ihre Lage mit der tiefsten, unter den gegebenen Verhältnissen möglichen Fläche zusammenfällt. Das Uhrgewicht könnte aber noch weiter Arbeit leisten, wenn man es in einen Schacht hineinsinken ließe, und ebenso verhält es sich mit dem Wasser am Meeresspiegel, das auch noch Energie der Lage wirksam werden lassen könnte, sobald man es etwa in ein tiefes Bergwerk hineinfließen ließe. Auch bei einer Federuhr schafft die Muskelarbeit des Aufziehens Energie, und zwar bezeichnet man die der Stahlfeder beim Spannen erteilte Energie als *Spannungsenergie*. Diese ist von der Energie der Lage nicht verschieden; man nennt beide *potentielle Energie*. Zur Messung von Energien bedient man sich der durch sie geleisteten Arbeit, und zwar ist die in der Technik benutzte Einheit der Arbeit das *Meterkilogramm*, ein Maß, das sich auf dem sogenannten „absoluten Maßsystem“ aufbaut.

Die physikalische Einheit der Länge ist das Zentimeter (cm), die Einheit der Masse das Gramm (g) und die Einheit der Zeit die Sekunde (sek). Das Zentimeter bestimmt sich als der 1000millionste Teil des Erdquadranten, das Gramm als das Gewicht eines Kubikzentimeters Wasser bei einer Temperatur von 4 Grad C und die Sekunde als der 86 400ste Teil des mittleren

Sonntages. Diese Einheiten nennt man „absolute“ und das auf ihnen aufgebaute Maßsystem das „absolute Maßsystem“ oder auch „cm/g/sek-System“. Geleistete Arbeit mißt man als Produkt aus Kraft mal Weg, und zwar physikalisch in cm und g, technisch aber in Meterkilogramm (mkg). Um einen Körper vom Gewicht p Kilogramm auf s Meter Höhe zu heben, ist eine Arbeit von $p \cdot s$ Meterkilogramm (auch *Kilogramm* genannt) notwendig, und dementsprechend würde auch in einem so hoch gehobenen Körper des angegebenen Gewichtes eine potentielle Energie von $p \cdot s$ Kilogramm stecken. Es folgt daraus, daß in diesem Produkt jeder der beiden Faktoren ohne Änderung des Resultates geändert werden darf, wenn sich der andere Faktor in gleichem Maße entgegengesetzt ändert. Um z. B. einen Körper von 40 kg Gewicht 20 m hoch zu heben, ist theoretisch eine Arbeit von $40 \cdot 20 = 800$ mkg notwendig. Mit derselben Arbeitsgröße kann man aber auch 5 kg um 160 m oder 100 kg um 8 m heben usw. — solange das Produkt aus Gewicht und Hubhöhe eben dasselbe bleibt.

Mit *Effekt* oder *Leistung* bezeichnet man die in 1 Sekunde geleistete Arbeit, d. h. die Leistung ist das Produkt aus Kraft mal Weg, bezogen auf die Zeiteinheit. Technisch mißt man die Leistungen nach Meterkilogrammen pro Sekunde (mkg/sek), d. h. man stellt fest, wieviel Kilogramm eine Kraft mit der Geschwindigkeit von 1 m pro Sekunde heben kann oder — was auf dasselbe hinauskommt — mit welcher Geschwindigkeit 1 kg gehoben werden könnte. Zur Messung größerer Leistungen ist das Kilogramm eine zu kleine Einheit, und man verwendet dann als Einheit die *Pferdestärke* (PS); dabei ist $1 \text{ PS} = 75 \text{ mkg/sek}$. 1 PS entspricht also der Leistung, die man aufwenden muß, um 1 kg in 1 sek um 75 m zu heben (bzw. 75 kg in 1 sek um 1 m).

Im Gegensatz zur *potentiellen Energie* (Energie der Lage; ruhende Energie; Spannungsenergie; Spannung) steht die *kinetische Energie* (Energie der Bewegung), die jeder in Bewegung begriffene Körper hat, da er imstande ist, vermöge seiner Geschwindigkeit Arbeit zu leisten. Ein senkrecht in die Höhe geworfener Stein verliert, indem seine Geschwindigkeit während des Steigens durch die Erdanziehung abnimmt, fortwährend von der kinetischen Energie, die ihm zu Beginn seiner Bewegung mitgeteilt worden war; in demselben Maße gewinnt er aber dafür an potentieller Energie. Die Summe beider bleibt konstant, nur daß sich die eine Form in die andere verwandelt. Wenn der Körper, am höchsten Punkte seiner Bahn angelangt, die kinetische Energie vollständig verloren hat, so hat er dafür ebensoviel potentielle Energie gewonnen, und es kann nun bei seinem Fall eine Rückverwandlung eintreten. Die Energie des fallenden Körpers verschwindet auch nicht, wenn er beim Auftreffen auf einen festen Körper seine Geschwindigkeit verliert, sondern sie geht dabei nur in eine andere Form über, nämlich in *Wärme*, d. h. der Körper erwärmt beim Auftreffen den Boden. Eine Arbeit von 424 mkg vermag die Temperatur von 1 kg Wasser um 1° zu erhöhen.

Das Prinzip des ganzen geschilderten Vorganges ist nur ein Spezialfall des *Satzes von der Erhaltung der Energie*. Aus diesem folgert die Unmöglichkeit, ein *Perpetuum mobile* zu konstruieren, d. h. eine Vorrichtung, die nach einmaligem Kraftanstoß für immer in Bewegung bleiben und Arbeit verrichten könnte.

Auch die anderen Energieformen sind ineinander verwandelbar, so elastische, elektrische, magnetische, strahlende und chemische Energie.

In den Maschinen werden durch die eingeleitete Kraft Bewegungsvorgänge hervorgerufen; diesen Bewegungen stehen Widerstände entgegen, bei deren Überwindung eben durch die Maschine mechanische Arbeit geleistet wird. Diese mechanische Arbeit teilt sich in *Nutzarbeit* und *Nebenarbeit*. Die Nutzarbeit ist derjenige Teil, der die *Nutzwiderstände* zu überwinden hat, also die Widerstände, deren Natur eben den Zweck der Maschine kennzeichnet. Die Nebenarbeit dagegen hat die *schädlichen* oder *Nebenwiderstände* zu überwinden, ohne die kein Maschinenbetrieb durchzuführen ist. Es gehört hierher vor allem der *Reibungswiderstand* der Maschinenteile gegeneinander, ferner der Luftwiderstand, der Seilbiegungswiderstand usw. Hiernach muß die in die Maschine eingeleitete Energie immer größer sein als die von ihr geleistete Nutzarbeit. Je weniger dabei durch Nebenarbeit verloren geht, um so vollkommener ist die Maschine. Das Verhältnis

zwischen aufgewandter Energie und nutzbar gemachter Arbeitsleistung bezeichnet man als *Wirkungsgrad* oder *Nutzeffekt*.

Bei der Nebenarbeit zur Überwindung der Reibung wird die Bewegungsenergie in schädliche Wärmeenergie umgewandelt. Deshalb ist die Verringerung der Reibungswiderstände eine Hauptaufgabe des Maschinenbaues. Zwecks einer solchen Verringerung müssen alle sich berührenden beweglichen Maschinenteile eine möglichst glatte Oberfläche haben, was noch durch *Schmiermittel* unterstützt wird. Ferner spielt dabei die Art der Bewegung gegeneinander („gleitende“ und „rollende“ Reibung) eine große Rolle, außerdem das Verhältnis der Härte zwischen den sich berührenden Teilen u. a. m.

Die baulichen Bestandteile, aus denen sich eine Maschine zusammensetzt, nennt man *Maschinenteile* oder *Maschinenelemente*. Man teilt sie zweckmäßig in der folgenden Weise ein:

1. *Verbindende Maschinenteile.*
 - a) Lösbar: Keile, Schrauben.
 - b) Unlösbar: Niete.
2. *Maschinenteile zur Übertragung der drehenden Bewegung zwischen zwei Wellen.*
Zahnräder, Reibungsräder, Riemen- und Seiltrieb.
3. *Maschinenteile zur Ausübung einer Drehbewegung.*
Zapfen, Achsen und Wellen, Kuppelungen, Lager.
4. *Maschinenteile der geradlinigen Bewegung.*
Seile und Seiltrommeln, Ketten und Kettentrommeln, Kolben und Kolbenstangen, Stopfbüchsen.
5. *Maschinenteile zur Änderung der geradlinigen Bewegung in drehende, und umgekehrt.*
Kurbelgetriebe, Kurbeln und Exzenter, Schubstangen, Geradführungsteile.
6. *Maschinenteile zur Aufnahme und Fortleitung von Flüssigkeiten.*
Rohre, Zylinder, Absperrvorrichtungen (Ventile, Schieber, Hähne).
7. *Regelnde Maschinenteile.*
Schwungräder, Regulatoren.

Die Maschinen zerfallen in die beiden großen Gruppen: 1. *Kraftmaschinen* oder *Motoren* und 2. *Arbeitsmaschinen* oder *Werkmaschinen*.

Die *Kraftmaschinen* oder *Motoren* sind Vorrichtungen, um irgendwelche Naturkräfte aufzunehmen und in Form von Bewegung nutzbar zu machen. Im strengsten Sinne sind Menschen und Tiere selbst Kraftmaschinen („belebte Motoren“), sofern sie durch Muskelkraft mechanische Arbeit leisten. Vielseitig sind schon die Motoren zur Aufnahme der Muskelkräfte von Menschen und Tieren; dazu gehören Hebel, Kurbel, Treträder und Göpel. Viel wichtiger geworden sind die Motoren zur Aufnahme von Elementarkräften. Dazu gehören *Luftkraftmaschinen* (Windräder, Druckluftmotoren), *Wärmeleistungsmaschinen* (Dampfkraftmaschinen, Verbrennungsmaschinen, Heißluftmaschinen) und *elektrische Maschinen*.

Die *Arbeits-* oder *Werkmaschinen* dienen zur Verrichtung nützlicher Arbeiten und werden von Motoren angetrieben. Hierher gehören 1. Maschinen zur Ortsveränderung, wie Flaschenzüge, Winden, Krane, Aufzüge, Pumpen, Gebläse, Baggermaschinen, alle Arten von Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen; 2. Maschinen zur Formveränderung, wie Hämmer, Walzwerke, Werkzeugmaschinen, Zerkleinerungsmaschinen, Dreschmaschinen, Spinn-, Webe- und Nähmaschinen, Buchdruckpressen usw.

Häufig faßt man unter der Bezeichnung *Zwischen-* oder *Transmissionsmaschinen* diejenigen Vorrichtungen zusammen, die zur Übermittlung mechanischer Arbeit von einer Maschine zur anderen dienen, und die wir bereits unter den *Maschinenteilen* aufgezählt haben.

Ferner sind die *Maschinen zum Messen, Zählen* und *Regulieren* zu nennen: Uhren, Tourenzähler (Tachometer), Wagen, Wasser- und Gasmesser und Regulatoren. Die letzteren können andererseits, wie oben geschehen, als regelnde *Maschinenteile* angesehen werden.

Endlich gibt es Maschinen, die gleichzeitig Motoren und Arbeitsmaschinen sind. Dazu gehören z. B. Lokomotive, Dampfpumpe, Drucklufthammer u. a. m.

Die gewaltige Bedeutung der Maschinen liegt darin, daß sie erstens Menschen- und Tierkräfte ersparen und vorteilhaft ersetzen können, daß sie zweitens dem Verkehr eine große Leichtigkeit, Leistungsfähigkeit und Schnelligkeit verschaffen, daß sie drittens die Menge, Güte und Wohlfeilheit der Arbeit erhöhen, endlich daß sie eine große Menge von Arbeiten (und damit von Erzeugnissen) erst ermöglichen, die ohne sie überhaupt nicht herstellbar wären. Die unübersehbare Menge der sogenannten „Massenartikel“, die zu verblüffend niedrigen Preisen in den Handel kommen, werden, jeder einzelne für sich, auf besonderen Spezialmaschinen hergestellt, und dieses Gebiet der *Massenfabrikation* ist so recht geeignet, die „Maschine“ in ihrer Leistungsfähigkeit zu zeigen. In 50—100 Beschäftigungsarbeiten teilt sich z. B. die Fabrikation einer Taschenuhr, und jede Nähnadel geht durch 90—120 Arbeitsstadien hindurch, bevor sie vollendet ist. Auch die leichte Auswechselbarkeit und Ersetzbarkeit zahlreicher Gebrauchsgegenstände ist nur darauf zurückzuführen, daß ihre Teile (z. B. Schrauben) genau „normalisiert“ sind, d. h. durch Maschinen in absolut übereinstimmenden Größenverhältnissen erzeugt werden.

Freilich haben die Maschinen andererseits auf vielen Gebieten der menschlichen Arbeitskraft eine erdrückende Konkurrenz bereitet, aber es hat sich doch herausgestellt, daß sich dieser „Fluch der Maschine“ nach einer gewissen Übergangszeit fast immer in Segen verwandelt, indem schließlich durch die Maschinen weit mehr Personen Beschäftigung erhielten, als vorher solche durch sie verloren hatten, und zwar Beschäftigung entweder unmittelbar zur Bedienung der Maschinen, oder mittelbar bei der Weiterverarbeitung, bei der Verpackung, beim Verkauf usw. der Maschinenerzeugnisse.