

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Theoretische Maschinenlehre

in 4 Bänden

Theorie der Kraftmaschinen

Grashof, Franz

Leipzig, 1890

[Einleitung]

[urn:nbn:de:bsz:31-282943](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-282943)

Theorie der Kraftmaschinen.

§. 1. Uebersicht der Formen des zu technischen Arbeitszwecken verwendbaren natürlich vorhandenen Arbeitsvermögens.

Arbeitsvermögen (Energie) kann in Betreff seiner Erscheinungsform unterschieden werden als freies und als gebundenes Arbeitsvermögen. Unter freiem Arbeitsvermögen (kinetischer Energie), gewöhnlich als lebendige Kraft bezeichnet, ist ein solches zu verstehen, welches eine bewegte Masse vermöge ihrer Bewegung in Bezug auf einen anderen Körper (oder einen als ruhend gedachten Raum) besitzt, unter gebundenem (potentieller Energie) ein solches, welches einem Körper infolge seiner Lage gegen andere Körper und der zwischen ihnen wirksamen Kräfte zukommt, so dass es als solches verkleinert, nämlich theilweise frei wird durch eine relative Bewegung im Sinne jener Kräfte, vergrössert durch eine entgegengesetzte relative Bewegung.

Freies sowohl wie gebundenes Arbeitsvermögen kann weiter als äusseres und inneres unterschieden werden. Das äussere freie Arbeitsvermögen (in der Mechanik schlechtweg oder im engeren Sinne als lebendige Kraft bezeichnet) entspricht einer als solche wahrnehmbaren Bewegung, d. h. einer Bewegung, bei der die Punkte des betreffenden Körpers Wege von messbaren Längen durchlaufen, das innere dagegen den hypothetischen, als solche nicht wahrnehmbaren und messbaren relativen Bewegungen der die Körper constituirenden Atome bzw. Moleküle, insbesondere z. B. solchen Molekularbewegungen, die als Ursache der Wärme betrachtet werden. Aeusseres gebundenes Arbeitsvermögen kommt einem Körper von endlicher Grösse zu vermöge seiner Lage gegen andere solche Körper und der zwischen ihnen wirksamen Kräfte, inneres den Körpern an sich vermöge der relativen Lagen ihrer sie constituirenden Atome bzw. Moleküle und der zwischen diesen wirksamen hypothetischen Kräfte. Letzteres kann unterschieden werden in chemisch gebundenes, entsprechend der Gruppierung der Atome in den Molekülen und den

chemischen Kräften, mit welchen die Atome aufeinander wirken, und in physikalisch gebundenes, als beruhend zu betrachten auf der Gruppierung der ganzen Moleküle mit Aetherhüllen und auf den zwischen diesen wirksamen betreffenden Kräften.

Gemäss einem fundamentalen Princip der Naturwissenschaften ist die Gesamtgrösse des in der Welt vorhandenen Arbeitsvermögens unveränderlich, und sind nur die Formen desselben, durch die Arbeiten von Kräften vermittelt, vielfachen unaufhörlichen Wandlungen unterworfen. So z. B. kommt einem irdischen Körper, wenn er über die Erdoberfläche erhoben ist, vermöge dieser Erhebung und seiner Schwere ein gewisses gebundenes (äusseres) Arbeitsvermögen zu, welches frei, nämlich in freies (gleichfalls äusseres) Arbeitsvermögen, in sogenannte lebendige Kraft verwandelt wird, falls der Körper auf die Erde niederfällt, und zwar wird diese Umwandlung vermittelt durch die Arbeit der Schwerkraft. Allgemein ist die Wandlung von gebundenem in freies Arbeitsvermögen mit einer positiven Arbeit verbunden, um deren Betrag das gebundene Arbeitsvermögen abnimmt, das freie zunimmt. Umgekehrt verhält es sich bei der mit einer überschüssigen negativen Arbeit verbundenen Wandlung von freiem in gebundenes Arbeitsvermögen. Uebrigens kann auch freies in ein anderes freie, gebundenes in ein anderes gebundene Arbeitsvermögen übergehen. So wird beim stossweisen Niederfallen eines irdischen Körpers durch Vermittlung negativer Arbeit der Stosskraft (des gegenseitigen Druckes) und positiver Arbeit von Molekularkräften äusseres in inneres freies Arbeitsvermögen, nämlich in Wärme verwandelt, die sich z. B. bei wiederholten Schlägen eines Rammjärs gegen den Pfahl durch Erhitzung beider Theile zu erkennen giebt. Bei der Erhebung des Bärs einer Handramme wird inneres gebundenes (in den Muskeln der Arbeiter chemisch gebundenes) Arbeitsvermögen in äusseres gebundenes verwandelt durch Vermittlung positiver Muskelkraft- und negativer Schwerkraft-Arbeit. Allgemein wird, während die Verwandlung von gebundenem in freies Arbeitsvermögen mit überschüssiger positiver Arbeit, die umgekehrte Wandlung mit überschüssiger negativer Arbeit verbunden ist, die Wandlung von freiem in freies, von gebundenem in gebundenes Arbeitsvermögen durch sich compensirende theils positive, theils negative Arbeiten vermittelt.*

* Es darf nicht stören, dass die übliche wissenschaftliche Ausdrucksweise dieser Auffassung nicht immer ganz zu entsprechen scheint. So sagt man im Falle eines z. B. in der atmosphärischen Luft befindlichen Körpers, dass bei einer Temperatur-

Die Technik sucht die in Rede stehenden Wandlungen, die im Haushalte der Natur unaufhörlich in grossem Massstabe stattfinden, zum Theil ihren Zwecken gemäss zu leiten. Hilfsmittel dazu sind die Maschinen, durch welche also Arbeitsvermögen niemals erzeugt, sondern nur in Betreff seiner Erscheinungsform umgewandelt werden kann. Ein vollständiges Maschinensystem besteht im Allgemeinen aus der Kraftmaschine (Umbtriebsmaschine, Motor) zur Verwandlung des zum Betriebe disponiblen Arbeitsvermögens in mechanische Arbeit, aus der Arbeitsmaschine (Werkmaschine, Werkzeugmaschine) zur Verwandlung dieser mechanischen Arbeit in die Form von Arbeitsvermögen, welche in Verbindung mit bestimmten Bewegungen dem jeweiligen Zwecke (bestimmter Orts- oder Formveränderung von Körpern) entspricht,* in der Regel auch aus der Zwischenmaschine (Transmission) zur Fortpflanzung der mechanischen Arbeit von der Kraft- zur Arbeitsmaschine eventuell mit entsprechender Abänderung beider Factoren der Arbeitstärke, nämlich der Kraft und der Geschwindigkeit ihres Angriffspunktes im Sinne der Kraft, bzw. des Kraftmomentes und der betreffenden Winkelgeschwindigkeit bei unveränderter Grösse des Productes, d. h. der Arbeitstärke selbst, vorbehaltlich solcher Abnahme desselben, die durch unvermeidliche Bewegungswiderstände verursacht wird. Abgesehen davon, dass die Zwischenmaschine oft fehlt, indem die Kraftmaschine die zur Bethätigung der Arbeitsmaschine nöthige Bewegung schon hat und beide in unmittelbare Verbindung gebracht werden können, sind letztere auch nicht selten so mit

erhöhung desselben durch Wärmemittheilung ein Theil dieser Wärme in äussere Arbeit verwandelt werde entsprechend der Volumenvergrösserung des Körpers entgegen dem äusseren Druck. Nach obiger Auffassung wird durch fragliche Arbeit die Verwandlung der betreffenden Wärme in physikalisch gebundenes Arbeitsvermögen der Luft vermittelt entsprechend der Verdichtung, welche die Luft durch die Ausdehnung des Körpers erfährt, aber jene Arbeit ist so genau das Mass dieser Aenderung von gebundenem Arbeitsvermögen, dass es im Allgemeinen zulässig (oder gar wegen Unmessbarkeit der auf eine sehr grosse Luftmenge sich vertheilenden Dichtigkeitsänderung vorzuziehen) ist, einfacher nur von ihr zu sprechen, obschon sie eine Grösse von so zu sagen nur augenblicklicher Existenz ist, durch welche lediglich die Verwandlung einer Grösse von dauernder Existenz in eine andere solche, nämlich von einer in eine andere Form von Arbeitsvermögen vermittelt wird.

* Das aus der mechanischen Arbeit erhaltene Arbeitsvermögen braucht nicht bezweckt oder wesentlich durch den Zweck bedingt zu sein. Bei dem Horizontaltransport von Lasten z. B. dient die von der Kraftmaschine gelieferte mechanische Arbeit nur zur Bewältigung von Nebenwiderständen, die mit jenem Transport verbunden sind, abgesehen von der lebendigen Kraft, die dem transportirten Körper und dem Transportmittel (insbesondere z. B. einem als Arbeitsmaschine aufzufassenden Fuhrwerke) beim Uebergange aus Ruhe in Bewegung erteilt werden muss.

einander vereinigt, dass sie nur begrifflich, kaum räumlich getrennt werden können, indem dieselbe Maschine in einer Hinsicht Kraft-, in einer anderen zugleich Arbeitsmaschine ist, z. B. das Spindelprägewerk, der Dampfhammer u. a.*

Die vorzugsweise üblichen Kraftmaschinen, um welche es sich hier allein handelt, entsprechen den Formen, in welchen vorzugsweise natürlich vorhandenes Arbeitsvermögen zu technischen Arbeitszwecken benutzbar ist; es sind das solche, in denen es am reichlichsten entweder durch Ansammlung oder durch beständige Erneuerung in oder auf der Erde vorhanden, in denen es ferner am leichtesten fassbar und zwar insbesondere örtlich concentrirbar ist. Am meisten, wenn auch in sehr verschiedenem Grade, entspricht diesen Bedingungen das äussere freie oder gebundene Arbeitsvermögen des Wassers, das äussere freie Arbeitsvermögen der atmosphärischen Luft, sowie das innere gebundene und zwar chemisch gebundene Arbeitsvermögen von lebenden Wesen, von vegetabilischen und besonders von fossilen Brennstoffen.

Das äussere Arbeitsvermögen des Wassers ist in Form von freiem Arbeitsvermögen technisch nutzbar als dasjenige, welches in Flussbetten fließendes Wasser vermöge seiner Masse und Geschwindigkeit besitzt; doch findet solche Art der Benutzung in nur untergeordnetem Grade statt, besonders deshalb, weil in dieser Form das Arbeitsvermögen in einer verhältnissmässig allzu grossen Wassermasse vertheilt und auch nicht auf einfache Weise concentrirbar, d. h. auf eine kleinere Wassermasse mit entsprechend grösserer Geschwindigkeit übertragbar ist. In viel grösserem Massstabe wird deshalb das äussere Arbeitsvermögen des Wassers als gebundenes, nämlich dadurch verwerthet, dass das Gefälle einer gewissen Flussstrecke durch abgezweigte Canäle ev. in Verbindung mit Stauung zu möglichst grossem Theile an einer gewissen Stelle con-

* Aehnlich verhält es sich schon bei dem Handwerkzeug und dem Handtriebzeug als den einfachsten und ursprünglichsten Formen von leblosen körperlichen Gebilden analoger Bestimmung mit einer Arbeits- bzw. Kraftmaschine, welche auch u. A. zu einem einzigen Gebilde vereinigt sein können, das Werkzeug und Triebzeug zugleich ist, wie z. B. der Hobel, der Grabstichel, während Meissel und zugehöriger Schlägel einfachste Beispiele von getrenntem Werkzeug und Triebzeug sind. (E. Hartig: Ueber einige Allgemeinbegriffe der mechanischen Technik. „Civilingenieur“, XXX. Band, 6. Heft.) Trotz der nahen Beziehung und Analogie mit Arbeitsmaschinen und Kraftmaschinen, welche Werkzeuge bzw. Triebzeuge im Allgemeinen nur als Bestandtheile enthalten, gehört doch die nähere Erörterung jener einfachen Formen nicht in das Gebiet der Maschinenlehre, indem eine Maschine ihrem Begriffe nach wesentlich ein Mechanismus im Arbeitsgange ist.

centrirt wird. Wenn dann auch das gebundene Arbeitsvermögen, das dem Wasser infolge dieses örtlich concentrirten Gefälles zukommt, oft nicht unmittelbar als solches, sondern nach vorheriger Umsetzung in freies Arbeitsvermögen bewegten Wassers zur Arbeitsleistung in der hydraulischen Kraftmaschine gelangt, so lässt sich doch auf diese Weise einer bestimmten Wassermasse eine viel grössere Geschwindigkeit, somit ein viel grösseres freies Arbeitsvermögen mittheilen, als eine gleich grosse Wassermasse des natürlichen Flusses besitzt. Bei letzterem wird das ganze, seinem Gefälle und der Schwere des Wassers entsprechende gebundene äussere Arbeitsvermögen durch Vermittelung der Reibungswiderstände in inneres freies Arbeitsvermögen, nämlich in Wärme umgesetzt, die aber hier eine nur so geringe, kaum merkliche Temperaturerhöhung verursacht, dass ihre technische Benutzung zu Arbeitszwecken nicht in Frage kommen kann. Durch Abzweigung des Wassers in einem Canal von kleinerem Gefälle vermindert man aber mit seiner Geschwindigkeit in diesem Canal, oft auch mit der Länge der zu durchfliessenden Strecke und stets mit der Rauigkeit und Unregelmässigkeit der Canalwände im Vergleich mit dem Flussbette, sowie infolge vortheilhafterer Querschnittsform die Bewegungswiderstände, so dass ein entsprechender Theil des äusseren Arbeitsvermögens, der sonst durch sie in Wärme umgesetzt worden wäre, nun als gebundenes Arbeitsvermögen örtlich concentrirt erhalten und zu technischer Benutzung disponibel wird.

Die atmosphärische Luft besitzt zwar als Wind ein sehr grosses freies Arbeitsvermögen, das aber nur zu einem verhältnissmässig kleinen Theile verwerthet werden kann, weil es noch mehr, als das freie Arbeitsvermögen des in Flussbetten strömenden Wassers, in einer allzu ausgedehnten Masse vertheilt und nicht auf hinlänglich einfache Weise concentrirbar ist. Dazu kommt, dass durch die grosse Veränderlichkeit der Windstärke an demselben Orte die technische Nutzbarkeit des Arbeitsvermögens in dieser Form noch mehr beschränkt wird. Die Wasserführung von Flüssen ist wenigstens nicht in so hohem Grade wie die Windstärke variabel, auch im Ganzen auf mehr bekannte gesetzmässige, an die Jahreszeiten gebundene, somit im Voraus zu veranschlagende Weise; endlich kann oft mit Vortheil (insbesondere in durch Thalsperren gebildeten Teichen) die überschüssige Wassermenge eines Flusses zur Zeit des Hochwassers angesammelt werden als Ersatz für den Ausfall in trockenen Jahreszeiten.

Als chemisch gebundenes wird das Arbeitsvermögen sowohl im unentwickelten als auch in dem heutzutage am höchsten entwickelten

Zustände der menschlichen Gesellschaft vorzugsweise zu Arbeitszwecken benutzt, dort durch die mit chemischen Umsetzungen verbundene Muskelthätigkeit von Menschen und Thieren, hier durch Vermittlung calorischer Kraftmaschinen, d. h. von Maschinen, welche die Gewinnung mechanischer Arbeit in technisch brauchbarer Form durch Umsetzung aus Wärme, also aus innerem freiem Arbeitsvermögen vermitteln, welche Wärme selbst bei der Verbrennung vegetabilischer oder fossiler Brennstoffe durch Umsetzung aus chemisch gebundenem Arbeitsvermögen derselben erhalten wird. In dem letzteren, hier vorzugsweise interessirenden Falle ist die resultirende Verwandlung chemisch gebundenen Arbeitsvermögens in mechanische Arbeit meistens ein sehr mittelbarer, zusammengesetzter Vorgang. Zuvörderst ist es nicht nur Wärme, worin sich chemisch gebundenes Arbeitsvermögen bei der Verbrennung z. B. von Steinkohle verwandelt; ein Theil desselben geht durch die Vergasung der ursprünglich festen brennbaren Bestandtheile auch in physikalisch gebundenes Arbeitsvermögen über, ein anderer Theil in äusseres freies Arbeitsvermögen, entsprechend der Geschwindigkeit, mit der die luftförmigen Verbrennungsproducte entweichen und die atmosphärische Luft von ihnen verdrängt wird. Die thatsächlich producirte Wärme wird nun zunächst meistens zur Verdampfung von Wasser in einem Dampfkessel verwendet, freilich nicht vollständig, da erhebliche Theile durch die Ofenwände ausstrahlen und mit den noch wesentlich warmen Gasen durch die Esse abziehen. Die in den Kessel eindringende Wärme behält zum Theil diese ihre Form inneren freien Arbeitsvermögens bei, indem sie dazu dient, das mit niederer Temperatur in den Kessel eingepresste Speisewasser bis zur Kesseltemperatur zu erwärmen, zum grösseren Theil aber geht sie durch die Verdampfung von Wasser in die Form physikalisch gebundenen Arbeitsvermögens über; ein dritter Theil endlich setzt sich unmittelbar in mechanische Arbeit um in Folge der Volumvergrösserung, welche die Verdampfung begleitet. Durch die Expansion des Dampfes im Cylinder nach seiner Absperrung vom Kessel werden auch noch Theile seines freien und seines physikalisch gebundenen Arbeitsvermögens als Arbeit gewonnen, indem bei dieser Expansion der Dampf sich abkühlt und theilweise condensirt wird. Immerhin aber bleibt die ganze auf den Kolben übertragene mechanische Arbeit nur ein kleiner Theil des dem aufgewendeten Brennstoffe eigenthümlichen Arbeitsvermögens, desjenigen nämlich, welches durch vollkommene Verbrennung desselben als Wärme gewonnen werden könnte, und umsomehr gilt dasselbe von der schliesslich nutzbar gemachten Arbeit, die noch kleiner als jene Arbeit des Dampfdrucks auf den Kolben ist, theils in Folge der

unvermeidlichen Reibungswiderstände der verschiedenen in relativ gleitender Bewegung begriffenen Maschinentheile, wodurch eine theilweise Rückverwandlung von Arbeit in Wärme bedingt wird, theils infolge des Gegen drucks auf die Vorderseite des Kolbens. Wenn auch der letztere so viel wie möglich reducirt wird, so werden doch nicht mehr als etwa 5—10% des dem Brennstoffe eigenthümlichen Arbeitsvermögens selbst durch unsere besseren Dampfmaschinen als Nutzarbeit gewonnen. Der ganze verhältnissmässig grosse Rest ist nicht nur zu technischer Arbeitsverrichtung, sondern meistens überhaupt zu wirthschaftlichen menschlichen Zwecken verloren, indem sich nur ausnahmsweise Gelegenheit findet, einen Theil desselben noch als Wärme oder anderweitig zu verwerthen.

Jenes Ergebniss einer Nutzbarmachung des chemisch gebundenen Arbeitsvermögens unserer Brennstoffe zu höchstens etwa 5—10% ist zwar vergleichungsweise insofern nicht ungünstig, als das Arbeitsvermögen eines ganzen Flusses zu einem oft noch viel kleineren Theil, das der bewegten Luft gar nur zu verschwindend kleinem Theil benutzt wird. Wirthschaftlich ungünstiger für den einzelnen Unternehmer wird es schon durch den Umstand, dass der Brennstoff nach Massgabe seines ganzen, den Handelswerth bedingenden Arbeitsvermögens von ihm erworben werden muss, das Arbeitsvermögen eines Flusses nur theilweise, nur hinsichtlich des zu benutzenden Gefälles einer gewissen Strecke seines Laufes, das der bewegten Luft überhaupt nicht. Am ungünstigsten aber und zwar für die menschliche Gesellschaft im Ganzen erscheint das fragliche Ergebniss insofern, als die zum Betriebe calorischer Kraftmaschinen vorwiegend benutzten fossilen Brennstoffe einen aus früheren geologischen Perioden stammenden, von untergegangenen Vegetationen herrührenden Vorrath von Arbeitsvermögen darstellen, dessen Abgänge unersetzlich geworden sind. Alle übrigen der genannten Formen des technisch benutzten Arbeitsvermögens sind dagegen in beständiger Erneuerung begriffen; sie sind nur Theile des augenblicklichen irdischen Bestandes an Arbeitscapital der Welt, der durch Wärmeausstrahlung der Erde gegen den kälteren Welt raum hin zwar beständig vermindert, durch Zustrahlung von der Sonne aber beständig vermehrt und so auf einer im Ganzen nur wenig variablen Höhe erhalten wird, so lange die Sonne selbst als Quelle von Licht- und Wärmestrahlung, als Quelle jenes Stromes von kosmischem Arbeitsvermögen nicht merklich zu versiegen anfängt.

Die Betrachtung der Art und Weise, wie die Sonne uns fortwährend jenen Ersatz an Arbeitsvermögen liefert, das wir durch unsere Kraftmaschinen (mit Ausnahme der durch Verbrennung fossiler Brennstoffe

betrieben) technisch verwerthen, ist als Beispiel der in der Natur beständig stattfindenden betreffenden Wandlungen von Interesse. Indem aber die Wärmestrahlung der Sonne das irdische Wasser besonders an den ausgedehnten Meeresoberflächen verdampft, wird das in Form von Aetherschwingungen von der Sonne uns mitgetheilte freie Arbeitsvermögen zum grössten Theil in physikalisch gebundenes verwandelt, und indem der Wasserdampf entgegen der Schwere in höhere Schichten der Atmosphäre aufsteigt, geht das innere Arbeitsvermögen desselben zum Theil in äusseres gebundenes über; damit ist Ausdehnung und Abkühlung und schliesslich auch theilweise Condensation, nämlich Wolkenbildung verbunden, ein Vorgang, der durch Mischung mit kälteren Luftmassen beschleunigt und gesteigert wird. Haben die Wolken solche Dichtigkeit erlangt, dass sie nicht mehr schweben können, sondern als Regen oder Schnee wieder zur Erde fallen, so geht hierbei der grösste Theil ihres äusseren gebundenen Arbeitsvermögens durch Vermittlung der Arbeiten, welche die Schwerkraft verrichtet, der Bewegungswiderstand verbraucht und die Molekularkräfte verrichten, durch die Form äusseren freien Arbeitsvermögens hindurch in Wärme über, die sich durch Erwärmung theils des fallenden Regens selbst, theils der durchfallenen Luft zu erkennen giebt. Indem aber der Regen zum Theil auf das Festland, also auf solche Stellen der Erdoberfläche niederfällt, die über dem Meeresniveau liegen, bleibt ihm ein im Vergleich mit dem der Wolken zwar kleines, im Vergleich mit dem menschlichen Arbeitsbedürfniss aber noch grosses Arbeitsvermögen, das freilich erst von da an technisch nutzbar wird, wo jenes Wasser, vielleicht nach vorübergehend unterirdischem Lauf in Quellen wieder zu Tage tretend, zu Bächen und Flüssen sich sammelt bis zu schliesslicher Rückkehr in das Meer. — Inwiefern die Sonnenwärme die Quelle des Windes und somit auch seines durch betreffende Kraftmaschinen theilweise nutzbar zu machenden Arbeitsvermögens ist, kann im Allgemeinen daraus gefolgert werden, dass durch Erwärmung die Luft dünner und leichter, somit zum Aufsteigen in der umgebenden dichteren Luft genöthigt wird, die dann ihrerseits unten gegen die Erwärmungsstelle hinfliesst, während die aufgestiegene Luft oben seitlich abfliesst, dass ferner diese Gleichgewichtsstörung der Atmosphäre infolge der relativen Bewegung von Sonne und Erde successive an anderen Stellen der Erdoberfläche sich wiederholt, während die daraus hervorgehenden Luftströmungen bezüglich auf Richtung und Stärke durch mancherlei Umstände beeinflusst werden, z. B. durch die Verschiedenheit der ihrer Rotation entsprechenden Oberflächengeschwindigkeit der Erde unter ver-

schiedenen Breiten, durch die Configuration des Festlandes, besonders aber durch das im Wasserdampfgehalt der Atmosphäre aufgespeicherte bedeutende Arbeitsvermögen, das selbst doch auch, wie hervorgehoben wurde, von der Sonne abstammt. — Wie endlich auch alles vegetabilische und animalische Leben der Erde mehr oder weniger mittelbar von Licht und Wärme abhängt, kann wieder hauptsächlich auf Uebergänge verschiedener Formen von Arbeitsvermögen in einander zurückgeführt werden, ausgehend von demjenigen, welches in den die Sonnenstrahlung charakterisirenden Aetherschwingungen als freies Arbeitsvermögen enthalten ist. Durch dieses wird die Arbeit geliefert, die zur Zersetzung der in der Luft enthaltenen Kohlensäure aufgewendet werden muss, damit ihr Kohlenstoff von der Pflanze assimilirt werden könne; es setzt sich dabei in chemisch gebundenes Arbeitsvermögen um, das als Wärme wieder frei wird, wenn die Pflanze unter Rückbildung von Kohlensäure verbrennt. Eine Art von Verbrennung ist es auch, welcher im thierischen Körper die aufgenommene Nahrung unterliegt, nur dass sie langsamer und weniger direct, auch nicht vorwiegend bis zu den einfachsten Endproducten fortschreitet, und dass auch die (das animalische Leben charakterisirenden) chemischen Umwandlungen der Körperbestandtheile das in der Nahrung aufgenommene gebundene Arbeitsvermögen nicht nur als Wärme, sondern durch Vermittlung der Muskelthätigkeit zum Theil auch als Arbeit zur Bewegung des eigenen Körpers und zu anderen Arbeitszwecken frei werden lassen. So kann auch das in Pflanzen und Thieren chemisch gebundene Arbeitsvermögen als eine Concentration von in Aetherschwingungen vertheilt uns zugestrahltm Arbeitsvermögen der Sonne betrachtet werden, in welcher concentrirten Form dasselbe zu menschlichen Arbeitszwecken verwendbar geworden ist und in immer neuen Individuen der mit stetiger Entwicklung sich fortpflanzenden Gattungen von Organismen so lange uns erhalten bleiben wird, wie die Sonne selbst als ausreichend ergiebige Quelle desselben. — In den fossilen Brennstoffen dagegen, besonders in der Steinkohle, ist uns im Schoosse der Erde ein Vorrath von chemisch gebundenem Arbeitsvermögen aufgespeichert, der aus einer Epoche der Erdgeschichte stammt, in welcher eine durch die noch viel grössere Eigenwärme der Erde unterstützte üppigere Entwicklung der Flora noch nicht im Gleichgewicht war mit dem Verbrauchsbedürfniss der Fauna, und zugleich die geologischen und meteorologischen Zustände der Erde die Erhaltung jenes Vegetationsüberschusses in schliesslich zu Steinkohlenflötzen gewordenen Ablagerungen ermöglichten — ein Vorrath, dessen Abgänge unersetzlich sind, sofern die Bedingungen, unter denen er sich bilden konnte, für immer dahin sind.

Wenn die Menschen sich als eine Interessengemeinschaft von unbegrenzter Dauer betrachteten, oder wenn auch nur die einzelnen Völker durch das Interesse der späten Nachkommen sich wesentlich bestimmen liessen, so müsste es natürlich als wirthschaftliches Gesetz gelten, jenes in den Kohlenflötzen der Erde aufgespeicherte Arbeitsvermögen als einen unverzinslichen Schatz nur im Nothfalle oder insoweit anzugreifen, als das umlaufende, vor unseren Augen in beständigem Wechsel begriffene natürliche Arbeitsvermögen, von dem wir durch seine Nutzung im Gegensatz zu jenem gewissermassen nur die Zinsen zu geniessen brauchen, bei dem zeitigen Stand unserer Kenntnisse und Hülfsmittel zur Deckung des Arbeitsbedürfnisses nicht ausreicht; durch die fortschreitende Naturerkenntniss und Technik in Verbindung mit geeigneten wirthschaftlichen Massnahmen wäre jenes Zinsenerträgniss möglichst bis zum Gleichgewicht mit dem menschlichen Bedürfniss zu steigern. In der That aber haben sich die technisch-wirthschaftlichen Zustände der Völker in gerade umgekehrtem Sinne entwickelt, seit die Dampfmaschine sich mehr und mehr die erste Stelle als industrieller Motor errungen hat, und wenn wohl im Hinblick auf die riesige Gesamtstärke der z. Z. auf der Erde in Betrieb befindlichen Dampfmaschinen mit Befriedigung und Stolz darauf hingewiesen worden ist, „wie die Menschen gegenwärtig es verstehen, die Natur zu bemeistern und sie zu zwingen, ihre Gaben immer reichlicher zu spenden“, so ist unbeschadet der vollen Anerkenntniss des technisch-wissenschaftlichen Fortschritts doch jenes Urtheil in wirthschaftlicher Hinsicht von einem weiteren Gesichtspunkte aus erheblich einzuschränken. Denn in höherem Grade würden wir berechtigt sein, der Bemeisterung der Natur uns zu rühmen, wenn wir sie zwängen, vorwiegend nicht sowohl ihre unersetzlich vergänglichen, als vielmehr ihre stets sich erneuernden Gaben in den unseren Zwecken entsprechenden Formen immer reichlicher uns zugänglich zu machen.

Wenn auch nicht daran zu zweifeln ist, dass die Steinkohle als vorwiegend ausgebeuteter Schatz von Arbeitsvermögen nicht eher ihre Herrschaft verlieren werde, bevor nicht die Noth dazu zwingen oder die Rücksicht auf den augenblicklichen, wenigstens für nahe Zeit übersehbaren Vortheil dazu veranlassen wird, so ist jenen Erwägungen doch immerhin neben gesteigerter Mahnung zu möglichst ökonomischem Kohlenverbrauch die Aufforderung zu entnehmen, die Benutzung der fortdauernd fliessenden anderen Quellen von Arbeitsvermögen bei Zeiten thunlichst zu steigern und zu vervollkommen der Art, dass sie einst zu vorwiegender Befriedigung des stetig wachsenden Arbeitsbedürfnisses ausreichend werden.

Nachdem aber durch Vervielfältigung und Vervollkommnung der Maschinen überhaupt mit Benutzung von Elementarkräften es möglich geworden ist, sehr schätzbare Weise den Menschen mehr und mehr bezüglich seiner geistigen Fähigkeiten zur Geltung kommen zu lassen, kann natürlich nicht die Rede davon sein, die menschliche Muskelkraft je wieder in höherem Grade in Anspruch nehmen zu wollen. Ebenso wenig ist daran zu denken, die Muskelkraft von Thieren oder das Arbeitsvermögen des Holzes in ausgedehnterem Masse zu verwerthen; denn die zunehmende Dichtigkeit der Bevölkerung verlangt eine vorwiegend durch das Nahrungsbedürfniss bedingte Entwicklung der Bodencultur. Auch ist schon darauf hingewiesen worden, inwiefern die Benutzung des Windes mit so erheblichen Einschränkungen verbunden ist und der Natur der Sache nach stets verbunden sein wird, dass auch auf ihn die Zukunft gewerblicher Arbeitsgewinnung nur nebensächlich verwiesen werden kann. Von den verschiedenen Formen, in denen z. Z. das von der Natur uns dargebotene Arbeitsvermögen technisch benutzt wird, bleibt nur das äussere Arbeitsvermögen des Wassers als dasjenige übrig, dessen Verwerthung einer bis zum fast vollen Ersatz der Dampfmaschinenarbeit reichenden Steigerung fähig erscheint.

Erhebliche Verluste an Wasser und entsprechendem Arbeitsvermögen werden besonders dadurch verursacht, dass bei zeitweiligen Anschwellungen der natürlichen Wasserläufe grosse Wassermassen ungenutzt und oft verheerend ihren Weg thalabwärts verfolgen. Die sogenannte Accumulation als ein allgemein, wenn auch in sehr verschiedenen Formen zutreffendes Hilfsmittel zur Ermöglichung gleichförmigen Abgangs bezw. Verbrauchs irgend einer Sache bei ungleichförmigem Zugange derselben oder umgekehrt besteht hier besonders bei Gebirgsbächen am unmittelbarsten in der Anlage von Sammelteichen durch Herstellung von Thalsperren, welche Anlagen noch sehr der Vervielfältigung fähig und bedürftig sind. Ferner giebt es manche Orte, wo grössere Wasserläufe in Stromschnellen oder Wasserfällen concentrirt so erhebliche Quantitäten von Arbeitsvermögen besitzen, dass ihre Verwerthung das Bedürfniss des einzelnen gewerblichen Unternehmers weit übersteigen würde; hier sind grössere gemeinschaftliche Kraftmaschinen-Anlagen am Platze in Verbindung mit geeigneten Transmissionen, um die gewonnene mechanische Arbeit auf grössere Entfernungen zu übertragen und unter mehrere Fabriken u. s. w. zu vertheilen. Fehlt es auch nicht an einigen Beispielen solchen Verfahrens, so ist dasselbe doch auch noch viel weiterer Ausdehnung fähig. Endlich haben wir noch ein sehr bedeutendes, bisher kaum benutztes Arbeits-

vermögen an den Meeresküsten zur Verfügung,] welches zwar auch zum Theil von der Sonne, grösseren Theils aber vom Monde herrührt (von dem Arbeitsvermögen, das den relativen Lagen und gegenseitigen Anziehungskräften von Erde, Mond und Sonne entspricht), [das Arbeitsvermögen von Ebbe und Fluth nämlich,] welches theils als freies Arbeitsvermögen der rings um die Erde laufenden Fluthwelle, theils und zwar hauptsächlich als gebundenes des an einem gewissen Küstenorte periodisch gehobenen und gesenkten Meerwassers in Betracht gezogen werden kann. Bei der intermittirenden Wirkungsweise und erheblichen Grösse des Arbeitsvermögens, um welches es sich hier handelt, und bei der für die Verwendung der gewonnenen mechanischen Arbeit meist ungünstigen Lage der möglichen Fassungsorte an der Küste (Küstenstellen mit grosser Niveaudifferenz bei Hoch- und Niederwasser und wo sich möglichst natürliche Buchten mit engem und verhältnissmässig leicht gegen das Meer hin absperrbarem Eingange befinden) ist eine erfolgreiche Ausbeutung dieser noch fast unbenutzten Quelle von Arbeitsvermögen jedenfalls auch nur in Verbindung mit entsprechender Accumulation und mit Energieübertragung auf grössere Entfernungen zu erwarten.

So sind die Fortschritte in der Energiebenutzung des Wassers, zu denen die Zukunft gebieterisch hindrängen dürfte, wesentlich bedingt durch diejenigen in der Herstellung entsprechender Accumulatoren und in der vortheilhaften Uebertragung mechanischer Arbeit bezw. von Arbeitsvermögen auf grosse Entfernungen, also durch den Erfolg von Bestrebungen, welche in neuerer Zeit in der That eine lobhafte Theilnahme finden und besonders bemerkenswerthe Förderung erfahren haben, seit die Elektrizität mehr und mehr in das Gebiet der Technik hineingezogen worden ist. Aber nicht nur technische, sondern auch gewerblich-wirtschaftliche Entwicklungen und Umgestaltungen werden nöthig werden, um die erwähnten Arten vollständigerer Energieverwerthung allgemein in grossem Massstabe durchführen zu können. Indem nämlich dadurch die Mittel und das Arbeitsbedürfniss des einzelnen gewerblichen Unternehmers meistens sehr überschritten würden, werden sie mehr und mehr dazu führen müssen, die Arbeitsbeschaffung den einzelnen Arbeitconsumenten abzunehmen, dieselbe vielmehr zu einem besonderen gewerblichen Unternehmen zu machen, für welches die nutzbare Arbeit als solche, d. h. abgesehen von der Art ihrer technischen Nutzung Productionsobject ist, das wie eine Waare den Consumenten nach Quantität verkauft wird, entsprechend der allgemeinen gewerblichen Entwicklungsrichtung und analog wie für städtischen Einzelbedarf die Beschaffung von Licht und von

Wasser durch verzweigte Leitung von einer Gewinnungsstelle aus schon jetzt die Regel ist, die Beschaffung von Wärme ohne Zweifel einst Regel werden wird. —

Im Folgenden werden der Reihe nach näher besprochen: A. Belebte Motoren, B. Wassermotoren, C. Windmotoren, D. Wärmemotoren. Das Wort Motor, welches in zweifacher Beziehung gebraucht zu werden pflegt, zur Bezeichnung einer Kraftmaschine oder auch des an ihr zur Wirkung kommenden unmittelbaren Trägers von Arbeitsvermögen, ist unter A. im letzteren Sinne verstanden; in der That wird hier mehr von den Eigenschaften der Menschen und Thiere bezüglich ihrer Leistungsfähigkeit als Energieträger die Rede sein, als von Maschinen, an welchen sie anzugreifen bestimmt und welche meistens von einfachster Art sind.

A. Belebte Motoren.

§. 2. Allgemeine Bemerkungen in Betreff der Arbeit belebter Motoren.

Erfahrungsmässig giebt es für jede Art mechanischer Arbeitsleistung von Menschen und Thieren eine gewisse Grösse der ausgeübten Kraft, der Geschwindigkeit ihres Angriffspunktes im Sinne der Kraft und der täglichen Arbeitszeit, wobei, entsprechend gute Ernährung und Erholung während der übrigen Zeit vorausgesetzt, die tägliche Arbeit ein Maximum ist, ohne dass bei täglicher Wiederholung die Gesundheit leidet oder die Leistungsfähigkeit (abgesehen vom Einflusse zunehmenden Alters) abnimmt. Die vortheilhaftesten Grössen von Kraft, Geschwindigkeit und täglicher Arbeitszeit seien bezw.

K Kgr., c Mtr. pro Sec. und t Stunden,

die entsprechende dauernd grösstmögliche tägliche Arbeit folglich

$$A_0 = 3600 Kct \text{ Meterkilogramm.}$$

Die Werthe von K , c , t hängen ausser vom Individuum (von der Gesundheit und Stärke desselben und von seiner Uebung in der betreffenden Art von Arbeitsleistung) auch wesentlich ab von der Maschine, an welcher die Arbeit geleistet wird, überhaupt von der Art der Arbeitsverrichtung ev. auch ohne Maschine, weil Menschen und Thiere nicht in allen Stellungen und unter allen Verhältnissen gleich günstig ihre Muskelkräfte verwenden können. Auch ist es nicht gleichgültig, ob durch viele kürzere oder durch wenig längere Pausen von wenn auch gleicher Gesamtdauer die Arbeit zeitweilig unterbrochen wird.