

## Erstes Kapitel.

**Die Energie. — Der Wirkungsgrad. — Die absolute Temperatur. —  
Der Verbrennungsvorgang. — Das Wärmemengendiagramm.**

Zu einer Dampfmaschinenanlage im weiteren Sinne gehören: der Dampfkessel mit seiner Feuerung und Speisevorrichtung, die Dampfleitung und die eigentliche Dampfmaschine mit Kondensator und Luftpumpe. Bei Dampfmaschinen, welche ohne Kondensation arbeiten, fallen Kondensator und Luftpumpe weg, der Auspuffdampf strömt in die Atmosphäre. Man kann das Gebäude, welches eine Dampfmaschinenanlage enthält, als einen Kasten ansehen, worin die Stoffe, an einer Seite in den Kasten hineingegeben, vollkommen automatisch und selbsttätig verarbeitet werden und in veränderter Form, Art und Eigenschaft an einer anderen Seite des Kastens wieder herauskommen. Umschließt ein solcher Kasten etwa eine Auspuff-Dampfmaschinenanlage, so wären an der einen Seite des Kastens ein Fülltrichter für die Kohle, ein Lufteinströmrrohr und ein Wasserzuflußrohr vorhanden, an der anderen Seite wären ein Abfallrohr für Asche und Schlacke, ein Kaminrohr für den Abzug von Verbrennungsgasen, ein Abdampfrohr und ein Abflußrohr für Kondensationswasser vorhanden. Außerdem könnte mittels eines aus dem Kasten herausreichenden Seil- oder Rientriebes nützliche mechanische Arbeit außerhalb des Kastens verrichtet werden. Durch

die Füll- und Abflußrohre steht das Innere des Kastens mit der äußeren Atmosphäre der Umgebung in Verbindung.

Wendet man nun den Satz von der Erhaltung der Energie auf das hier betrachtete System an, so kommt man zu dem Schlusse, daß die Größe der außerhalb des Kastens geleisteten nützlichen mechanischen Arbeit gleich der Differenz ist, welche zwischen dem summarischen Energiewert der zugeführten Stoffe und dem summarischen Energiewert der abgeführten Stoffe besteht. Je größer diese Differenz ist, desto größer ist die mechanische Arbeitsleistung. Da nun die Differenz um so größer ist, je kleiner der Subtrahend wird, so müßte es bei gegebenem Energiewert der zugeführten Stoffe nur darauf ankommen, den Energiewert der abgeführten Stoffe möglichst klein zu machen, um das Maximum an mechanischer Arbeitsleistung zu erzielen.

Die Größe der Energie eines Körpers oder eines Körpersystems in einem gegebenen Zustande ist die algebraische Summe der mechanischen Arbeiten oder der ihrer Äquivalente, welche beim Übergange des Körpers oder Systems aus dem gegebenen Zustande in einen willkürlich gewählten Normalzustand gewonnen werden. Dieser Definition zufolge ist es unmöglich, einen absoluten Wert der Energie eines oder mehrerer Körper ziffermäßig in Kalorien oder Arbeitseinheiten anzugeben; es ist vielmehr bei allen Rechnungen, die Energiewerte betreffen, zu berücksichtigen, daß diese Werte nur mit Hinsicht auf einen willkürlich gewählten Normalzustand Gültigkeit und Sinn haben. Die Differenz der Energiewerte für zwei Zustände eines und desselben Körpers oder Körpersystems ist hingegen

von der Wahl des Normalzustandes unabhängig. Handelt es sich darum, den Energiewert der unverbrannten Kohle und der Verbrennungsluft festzustellen, so könnte man als Normalzustand den Zustand der Verbrennungsprodukte bei der Temperatur der Umgebung und unter atmosphärischem Druck stehend betrachten. Man hat alsdann nur nötig, die Verbrennung einer Kohlenprobe vorzunehmen und genau zu beobachten, wieviel Wärme und mechanische Arbeit zugeführt oder abgeführt werden müssen, damit der als Normalzustand gewählte Zustand der Verbrennungsprodukte erreicht wird. Die algebraische Summe der erhobenen Wärme- und Arbeitsmengen, in äquivalentem Maß berechnet, gibt den gesuchten Energiewert. Der so ermittelte Energiewert heißt in der Praxis der (obere) Heizwert des Brennstoffes.<sup>1)</sup>

Ebenso kann man zur Bestimmung der Energiewerte von Speisewasser, Abdampf- und Kondensationswasser zweckmäßig Wasser von der Temperatur der Umgebung als Normalzustand der angeführten Stoffe betrachten und hienach die Energiewerte ermitteln.

---

<sup>1)</sup> Man unterscheidet einen oberen und einen unteren Heizwert. Bei der Abkühlung der Verbrennungsprodukte auf 20° findet durch die Kondensation der in den Verbrennungsprodukten enthaltenen Wasserdämpfe eine Wärmeabgabe statt, die in der Praxis, wo die Verbrennungsprodukte gasförmig bei hohen Temperaturen entweichen, nicht nutzbar gemacht werden kann. Dieser Erwägung entsprechend bringt man von dem auf die oben angegebene Weise ermittelten Heizwert noch die Verdampfungswärme des entstandenen Kondensates in Abzug und erhält den unteren Heizwert als Resultat. Streng genommen wäre es richtiger, in den Wärmebilanzen mit dem oberen Heizwert zu rechnen, anstatt, wie dies fast allgemein üblich ist, den unteren Heizwert zugrunde zu legen.

Bei einer Kondensationsmaschinenanlage hätte man noch die Energiewerte des zugeführten Kühlwassers und des abgeführten Luftpumpenauswurfes in Rechnung zu stellen.

Auf diese Art kann man für jede Dampfmaschinenanlage eine Wärme- oder Energiebilanz aufstellen, einen eigentlichen Wirkungsgrad jedoch nicht berechnen. Denn als Wirkungsgrad könnte man nur den Quotienten aus dem Energiewerte der zugeführten Stoffe in die nutzbar gewonnene mechanische Arbeit ansehen. Der Energiewert der zugeführten Stoffe ist aber durch die Wahl des Normalzustandes bestimmt, und, da diese Wahl ganz willkürlich geschehen kann, ist der Energiewert selbst der Willkür unterworfen. Auf dieser Grundlage ließe sich also für eine gegebene Anlage ein Wirkungsgrad angeben, der ganz nach Belieben größer oder kleiner als Eins oder gleich Eins wäre. Das letztere Resultat erhielte man, wenn man als Normalzustände der in Betracht kommenden Körper die Zustände so, wie die Körper den Kasten verlassen, ansähe.

Nun ist aber doch wohl zu bedenken, daß für die Größe der mittels einer Maschinenanlage aus einer gegebenen Menge von Brennstoffen und anderem Materiale erzielbaren nutzbaren mechanischen Arbeit ein Maximum bestehen muß, welches unter den vorhandenen Verhältnissen niemals überschritten werden kann. Nimmt man nun an, dieses Maximum sei bekannt und habe ziffermäßig den Wert  $A$ , so kann man, da der ziffermäßige Wert der Energie der zugeführten Stoffe je nach der Wahl des Normalzustandes jede beliebige Größe erhalten kann, die Normalzustände so wählen, daß der Energiewert der zugeführten Stoffe auch genau gleich  $A$  wird. Dann kann für jeden einzelnen vor-

liegenden Fall ein Wirkungsgrad der Anlage berechnet werden, welcher angibt, wieviel von der mit den gegebenen Stoffen überhaupt erzielbaren mechanischen Arbeit in dem besonderen Falle tatsächlich erzielt wird. Dieser Wirkungsgrad ist, wie früher, der Quotient aus dem Energiewerte der zugeführten Stoffe in die Größe der tatsächlich erzielten nutzbaren mechanischen Arbeit.

Carnot hat gezeigt, daß das Maximum an mechanischer Arbeit, welches mit einer vollkommenen verlustlosen Maschine aus einer Wärmemenge  $Q$  gewonnen werden kann, nur von den Temperaturen abhängig ist, bei welchen der Maschine Wärme zu- oder abgeführt werden kann<sup>1)</sup>. Dabei ist es Bedingung, daß die

---

<sup>1)</sup> Es ist hier wichtig zu bemerken, daß sich der Carnotsche Satz auf die Produktion mechanischer Arbeit mittels einer Maschine bezieht. Hie und da begegnet man der mißverständlichen Auffassung, daß es gemäß des Carnotschen Satzes auch bei Vernachlässigung von Reibungsverlusten etc. unmöglich sei, eine gegebene Wärmemenge ganz in mechanische Arbeit zu verwandeln. Diese Auffassung ist aber unrichtig. Bei der umkehrbaren isothermischen Expansion eines vollkommenen Gases wird die dem Gase zugeführte Wärmemenge ganz in mechanische Arbeit verwandelt, und man kann sich je nach der Vollkommenheit der angewendeten Mittel diesem Arbeitsprozeß beliebig nähern. Die kontinuierliche Ausbeutung eines solchen Prozesses zur Verwandlung von Wärme in mechanische Arbeit ist aber unmöglich, weil sich das Arbeitsmittel, trotzdem es keine Einbuße an Energie erleidet, während der fortschreitenden Zustandsänderung immer mehr und mehr ins Gleichgewicht mit den aus der Umgebung wirksamen Kräften setzt. Daher ist die kontinuierliche Verwandlung von Wärme in mechanische Arbeit an den Betrieb einer periodisch wirkenden Maschine geknüpft, deren Glieder periodisch immer wieder dieselben Zustände durchlaufen.

Wärmezufuhr bei der konstanten höchstmöglichen Temperatur und die Wärmeabfuhr bei der konstanten tiefstmöglichen Temperatur stattfinden, ferner daß innerhalb der Maschine kein Wärmeaustausch der einzelnen Teile und Stoffe durch Leitung und Strahlung stattfinden, und alle Bewegungen so langsam erfolgen, daß keine Massenwirkungen auftreten. Es ist also eine ideale reibungslose Maschine gedacht, deren Zustände in jeder Phase als Gleichgewichtszustände betrachtet werden können.

Bei einer solchen Maschine wird das Verhältnis der gewonnenen mechanischen Arbeit  $A$  zur Wärmemenge  $Q$  für eine gegebene Temperatur, bei der die Wärmemenge von der Maschine aufgenommen wird, der Differenz der Temperaturen  $(t-t_1)$ , bei denen Wärmezufuhr und Wärmeabfuhr vor sich gehen, direkt proportional:

$$\frac{A}{Q} = c(t-t_1).$$

$c$  ist eine nur von der Temperatur  $t$  abhängige Größe und somit für eine bestimmte Temperatur der Wärmezufuhr eine Konstante.

Die erzielbare mechanische Arbeit wird demnach bei gegebener Wärmemenge und gegebener oberer Temperaturgrenze um so größer sein, je niedriger die Temperatur ist, bei welcher die Wärmeabfuhr stattfinden kann.

Man kann sich nun vorstellen, daß man die Maschine und die Wärmequelle konstanter Temperatur in immer kältere und kältere Zonen transportiert, so daß man die Wärmeabfuhr bei immer niedrigerer Temperatur vornehmen kann, wodurch immer mehr

und mehr mechanische Arbeit produziert werden könnte. Das Maximum wäre erreicht, wenn die gewonnene mechanische Arbeit gleich dem mechanischen Äquivalent der zugeführten Wärme wäre. Die Temperatur, bei welcher alsdann die Wärmeabfuhr stattfinden müßte, wäre demnach die niedrigste Temperatur, deren Vorstellung noch einen Sinn hätte. Zählt man nun die Temperaturen von dieser untersten Grenze als absoluten Nullpunkt, so ist jede Temperatur zugleich ein Maß der mechanischen Arbeit, welche mittels einer Carnotschen Maschine aus einer ihr bei dieser Temperatur zugeführten Wärmemenge gewonnen werden könnte, wenn die Wärmeabfuhr bei der Temperatur des absoluten Nullpunktes stattfinden könnte. Der obige Ausdruck erhält nun die Form:

$$\frac{A}{Q} = c(T - T_1),$$

wobei  $T$  und  $T_1$  von dem wie vorstehend definierten absoluten Nullpunkt zu zählen sind. Für irgend eine Temperatur  $T$  der Wärmezufuhr muß  $A = Q$  werden, wenn  $T_1 = 0$  wird. Daraus ergibt sich  $T = \frac{1}{c}$ . Thomson und Joule bestimmten experimentell aus Überströmungsversuchen mit Gasen den Wert von  $c$  zu  $c = \frac{1}{273,7+t}$ .

Der absolute Nullpunkt der thermodynamischen Temperaturskala und diese selbst stimmen nahezu mit dem Nullpunkte und der Skala des Luftthermometers überein.

Der Ausdruck  $\frac{A}{Q} = \frac{T - T_1}{T} = \eta$  kann als der thermodynamische Wirkungsgrad einer vollkommenen, verlustlosen Carnotschen Maschine gelten, welcher die

Wärme bei einer Temperatur  $T$  zufließt und bei einer Temperatur  $T_1$  wieder abgeführt wird. Die zugeführte Wärmemenge  $Q$  steht zur abgeführten Wärmemenge  $Q_1$  in dem Verhältnis:

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{T}{T_1}.$$

Bei Dampfmaschinenanlagen ist als die niedrigste Temperatur, bei welcher aus der Maschine Wärme abgeführt werden kann, die Temperatur der äußeren Atmosphäre oder etwa die Temperatur des Kühlwassers der Kondensationseinrichtung anzusehen. Bis zu diesen unteren Temperaturgrenzen können in der Praxis die Arbeitsmittel in den Maschinen nicht abgekühlt werden, was sehr bedeutende Effektverluste nach sich zieht, deren Vermeidung aber mit einem unverhältnismäßigen Aufwande an Einrichtungskosten verbunden wäre.

Einem unmittelbaren Vergleiche des Arbeitsprozesses einer Dampfmaschinenanlage mit dem Idealfalle der Carnotschen verlustlosen Maschine steht der Umstand im Wege, daß bei einer Dampfmaschinenanlage im weiteren Sinne, wie sie dieser Betrachtung zugrunde liegt, eine Zufuhr von Wärmemengen als solchen überhaupt nicht stattfindet. Mit dem Brennstoffe, der Verbrennungsluft, dem Speisewasser und dem Kühlwasser wird im Gegenteile viel weniger Wärme in die Anlage hineingebracht, als mit den Essengasen, dem Abdampf, dem Kondensationswasser usw. aus der Anlage entweicht. In den Kasten, der unsere Anlage umschließt, werden kalte Stoffe eingeführt, während heiße Stoffe aus dem Kasten hervorkommen und ihre Wärme in die Umgebung zerstreuen. Als idealen Grenzfall hätte man es anzusehen, daß die ein- und austretenden Stoffe und die Umgebung

von einerlei Temperatur wären. Dieser Grenzfall wäre bei folgendem Arbeitsvorgange im Inneren des Kastens erreicht. Kohle, Verbrennungsluft, Speisewasser und Kühlwasser treten kalt in den Kasten. Die Verbrennung der Kohle bewirkt die Erwärmung der Verbrennungsprodukte, diese geben die Wärme an das Speisewasser ab und kühlen sich dabei bis auf dessen ursprüngliche Temperatur ab, wonach sie durch das Kaminrohr und den Aschenfall aus dem Kasten entweichen. Das Speisewasser wird durch die von den Verbrennungsprodukten aufgenommene Wärme erwärmt und verdampft, wirkt als Dampf arbeitsverrichtend auf einen Kolben oder ein Turbinenrad, wird hierauf im Kondensator durch das Kühlwasser niedergeschlagen und tritt mit diesem vermischt als kaltes Kondensat aus dem Kasten. Die Menge des Kühlwassers ist dabei relativ so groß anzunehmen, daß durch die Kondensation des Abdampfes keine erhebliche Erwärmung des Kühlwassers eintritt.

Je nach dem Verhältnisse der in Wechselwirkung tretenden Stoffmengen und der Möglichkeiten ihres Wärmeaustausches kann das als Wirkungsgrad des Prozesses bezeichnete zweckmäßige Maß der Güte des geschilderten Arbeitsvorganges sehr verschieden ausfallen.

Auf dem Roste unserer Dampfkessel findet die Verbrennung der Kohle in der im Überschuß zugeführten Verbrennungsluft bei konstantem Drucke statt, der von dem der äußeren Atmosphäre nur um so viel abweicht, daß der Zutritt der Verbrennungsluft stattfinden kann. Dabei erwärmen sich die kontinuierlich oder in mehr oder weniger regelmäßigen Intervallen zugeführten Brennstoff- und Luftmengen zunächst auf die Entzün-

dungstemperatur der Kohle, wobei die Wärme von den schon in Verbrennung befindlichen Brennstoffmengen und deren heißen Verbrennungsprodukten durch Leitung und Strahlung auf die hinzutretenden kalten Brennstoff- und Luftmengen übertragen wird. Dabei findet also ein Übergang von Wärmemengen höherer Temperatur zu Wärme niederer Temperatur statt. Im weiteren Verlaufe, wenn die auf die Entzündungstemperatur erwärmte Kohle die Verbrennung selbst begonnen hat, wobei neue Wärmemengen aus der chemischen Energie der Konstellation Kohlenstoff und Sauerstoff entwickelt werden, dienen diese Wärmemengen dazu, die Temperatur der eigenen Verbrennungsprodukte zu erhöhen und inzwischen neu hinzugebrachte kalte Brennstoffmengen auf die Entzündungstemperatur zu erwärmen. Es wird also die von jedem Kohlenpartikel zur Erwärmung auf die Entzündungstemperatur von anderen Kohlenpartikeln bezogene Wärmemenge späterhin wieder abgegeben, so daß diese Beträge für die Ermittlung der schließlichen Temperatur der Verbrennungsprodukte aus der Rechnung fallen.

Der Heizwert eines Brennstoffes ist nach der oben gegebenen Erklärung als unveränderlicher Wert anzusehen, unter welchen Umständen immer die vollkommene Verbrennung stattfindet. Bei der Bestimmung des Heizwertes in der kalorimetrischen Bombe findet die Verbrennung bei konstantem Volumen statt; die Temperatur der Verbrennungsprodukte wird dadurch allerdings temporär viel höher als bei der Verbrennung unter konstantem Druck, die Wärmemenge aber, welche dem Kalorimeter entzogen werden muß, um die Temperaturverhältnisse, so wie sie vor der Verbrennung vorlagen, wieder herbei-

zuführen, ist genau so groß, als jene wäre, welche nach der Verbrennung unter konstantem Drucke den Verbrennungsprodukten entzogen werden müßte, um die Anfangszustände der Temperatur und des Volumens wiederherzustellen. Da das Gewicht des Brennstoffes, vermehrt um das der Verbrennungsluft, dem Gewichte der Verbrennungsprodukte gleich ist, so kann man sich die Verbrennungsvorgänge etwa so vorstellen, als ob dieser durch ihr Gewicht definierten Masse die durch den chemischen Prozeß entwickelte Wärme zugeführt werde.

Man kann nun für die ins Spiel kommende Wärmemenge in einem rechtwinkligen Koordinatensysteme Punkte einzeichnen, welche die Temperaturen der Körper zu Ordinaten und die Quotienten  $\frac{Q}{T}$ , aufgenommene Wärmemenge durch Temperatur, zu Abszissen haben. In der technischen Literatur werden solche Quotienten aus Wärmemenge durch Temperatur mitunter Wärmegewicht genannt; keinesfalls darf ein solcher Quotient mit Entropie verwechselt werden. Für die folgenden Untersuchungen ist es überflüssig, dem Quotienten einen besonderen Namen zu geben; es genügt, zu wissen, daß das Produkt von Abszisse und Ordinate oder das von den Achsen und von den Projektionslinien eines Punktes eingeschlossene Rechteck das Maß einer Wärmemenge ist. Die Länge der Abszisse wird dann mitunter ein Maß der Wärmekapazität eines Körpers sein. Das Diagramm selbst heißt Wärmemengendiagramm. Es gilt für Wärmemengen zum Unterschiede vom Entropiediagramm, welches für die Zustände eines Körpers gilt.

Die Bezeichnung Wärmemengendiagramm soll ausdrücken, daß die hier gewählte graphische Darstellung

die Veränderungen der Bestimmungsgrößen von Wärmemengen angibt, wobei die Träger der Wärme ganz außer Betracht bleiben. Die Wärme spielt nämlich bei manchen

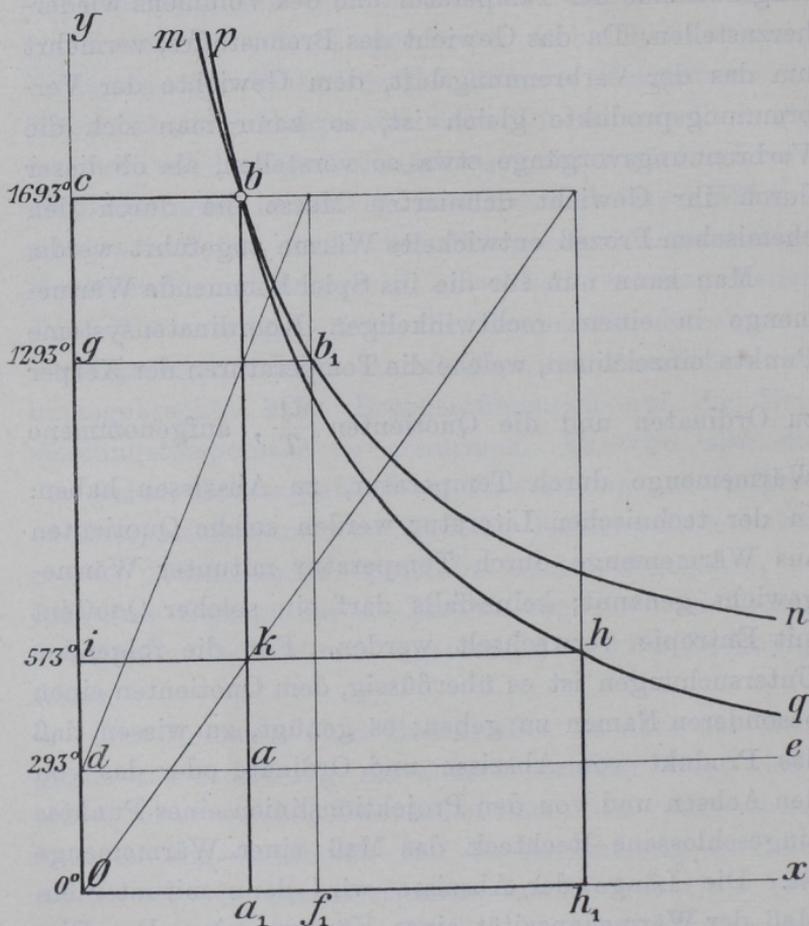


Fig. 1.

Vorgängen, insbesondere bei reinen Leitungsvorgängen, vollkommen die Rolle eines Stoffes, so zwar, daß, wenn eine Wärmemenge an irgend einer Stelle verschwindet, die dort verschwundene Wärmemenge an einer anderen

Stelle wieder als gleich große Wärmemenge zum Vorschein kommt.

Wenn ein Kilogramm Kohle von 7000 Kalorien Heizwert bei atmosphärischem Druck verbrannt wird, wobei die Luftzufuhr so bemessen ist, daß die Wärmekapazität<sup>1)</sup> der Verbrennungsprodukte = 5 wird, so erreicht die Temperatur der Verbrennungsprodukte, wenn die Temperatur der zuströmenden Luft  $20^{\circ}$  war, die Höhe von  $1420^{\circ}$ . Die absolute Temperatur der Verbrennungsprodukte ist daher  $1420 + 273 = 1693^{\circ}$ .

Im Wärmemengendiagramm Fig. 1 entspricht der Punkt  $a$  den Verhältnissen vor der Verbrennung. Die Temperatur der Kohle und der Luft ist  $20^{\circ}$  oder  $293^{\circ}$  absolut, im Diagramm als Länge der Ordinate  $aa_1$  ersichtlich. Die Abszisse  $Oa_1$  ist hier als Maß der Wärmekapazität = 5 Längeneinheiten. In dem Maße, als die Kohle verbrennt, steigt die Temperatur bis zu  $1693^{\circ}$  absolut. Im Diagramm ist  $ab$  die Linie der Wärmeentwicklung. Das Rechteck  $abcd$  stellt die durch die Verbrennung entwickelte Wärmemenge oder den Heizwert des Brennstoffes, im angenommenen Falle 7000 Kalorien, vor. Das Rechteck  $Ocba_1$  stellt die Wärmemenge vor, welche den Verbrennungsprodukten entzogen werden müßte, wenn sie bei konstantem Drucke bis auf den

<sup>1)</sup> Unter Wärmekapazität ist hier immer das Produkt aus den Maßzahlen des Gewichtes und der spezifischen Wärme des betrachteten Körpers verstanden. Man kann die Wärmekapazität auch das auf Wasser reduzierte Gewicht des Körpers nennen, weil, praktisch genommen, zur Erwärmung des Körpers um eine bestimmte Anzahl Thermometergrade eine ebenso große Wärmemenge erforderlich ist, als zur Erwärmung eines Wasserkörpers vom reduzierten Gewicht.

absoluten Nullpunkt abgekühlt werden sollten. Der geometrische Ort für den Punkt  $b$  bei beliebiger anderer Wärmekapazität der Verbrennungsprodukte, also für größeren oder kleineren Luftüberschuß, liegt in der Hyperbel  $mn$ , für welche die Ordinatenachse  $Oy$  und die Linie  $de$  Asymptoten sind. Der Punkt  $b_1$  zum Beispiel entspricht einer Verbrennungstemperatur von  $1293^\circ = Og$ , die bei einer Wärmekapazität  $Of_1 = 7$  erreicht wird. Jedem Punkte der Hyperbel  $mn$  entspricht eine andere totale Wärmemenge, die den Verbrennungsprodukten bei konstantem Drucke entzogen werden müßte, um sie bis zur Temperatur des absoluten Nullpunktes abzukühlen. Denn die ganze in Betracht kommende Wärmemenge ist der Heizwert des Brennstoffes, vermehrt um die Wärmemenge, welche die Verbrennungsprodukte noch abgeben können, wenn sie von der Temperatur der Umgebung, aus der ihre Bestandteile ursprünglich entnommen waren, bis auf die Temperatur des absoluten Nullpunktes abgekühlt werden. Diese Wärmemenge ist aber um so größer, je größer die Wärmekapazität der Verbrennungsprodukte ist. Auf die Veränderlichkeit der spezifischen Wärme mit der Temperatur der Verbrennungsprodukte ist hier vorläufig keine Rücksicht genommen.

Eine Hyperbel, für welche das Achsensystem  $yOx$  die Asymptoten bildet, wie z. B. die durch den Punkt  $b$  gelegte Hyperbel  $pq$ , ist der geometrische Ort für Punkte, welche gleich großen Wärmemengen entsprechen; denn die Flächeninhalte der aus Abszisse und Ordinate eines Punktes gebildeten Rechtecke sind einander gleich.

An der Hyperbel  $pq$  können die Vorgänge der durch Leitung und Strahlung geschehenden Wärme-

übertragung anschaulich gemacht werden. Köhlen sich beispielsweise die Verbrennungsprodukte, deren Temperatur  $1693^{\circ}$  beträgt, indem sie an der Oberfläche eines kalten Körpers entlang streichen, bis zu einer Temperatur von etwa  $573^{\circ}$  bei konstantem Drucke ab, so wird diese Abkühlung in der Fig. 1 durch die Strecke  $bk$  gekennzeichnet. Die Gase haben dabei eine Wärmemenge entsprechend der Fläche  $icbk$  abgegeben; die Wärmemenge, die sie unter gleichen Umständen bis zu ihrer Abkühlung auf die Temperatur des absoluten Nullpunktes nunmehr noch abgeben könnten, stellt die Fläche  $Oika_1$  dar; die von dem kalten Körper aufgenommene Wärmemenge wird durch das Rechteck  $a_1khh_1$  dargestellt, welches denselben Flächeninhalt wie das Rechteck  $icbk$  hat.

Nehmen wir nun an, daß die Verbrennungsprodukte mit der Temperatur von  $573^{\circ}$  absolut aus dem Kasten, der die Maschinenanlage umschließt, abströmen, dann bleibt von der durch den Brennstoff entwickelten Wärmemenge nur der Betrag, welcher der Fläche  $a_1khh_1$  entspricht, in der Maschine zur weiteren Verwertung zurück.

---