

kessel- und Maschinenanlage und der Leitungen, ferner die Ausgaben für Schmieröl, Ausbesserungen, Bedienung und Verwaltung, die den Preis der Brennstunde auf ein Vielfaches erhöhen.

5. Verluste bei der technischen Verwertung der Brennstoffenergie in einer Dampfanlage.

Wodurch entstehen nun diese gewaltigen Verluste? Am besten erkennen wir das, wenn wir die Wärme einmal an Hand von Abb. 102 auf ihrem recht umständlichen Wege von der Kohle bis zur Glühlampe verfolgen.

Wir denken uns also, daß der Heizer ein Stück Kohle, das gerade einen Heizwert von 100 Kalorien hat, auf den Rost wirft, der sich unter dem Dampfkessel befindet und auf dem schon glühende Kohle liegt. Das Kohlestück erhitzt sich, die Gase werden ausgetrieben und verbrennen mit dem Sauerstoff der Luft, die, genau wie beim Stubenofen, von unten durch den Rost streicht. Auch der feste Kohlenstoff verbrennt, und alle die heißen Gase, die auf diese Weise entstehen, streichen um den Kessel herum und erhitzen ihn. Sie gelangen dann in den Schornstein und entweichen ins Freie.

Hier treten bereits Verluste auf. Durch den Rost fallen kleine glühende Kohlestückchen hindurch, auch wird die Asche unnötigerweise erhitzt und nimmt also eine gewisse Wärmemenge mit. Sehr viel ist es nicht, was auf diese Weise fortgeht; wir können den Verlust auf 3 Kalorien von den zugeführten hundert schätzen.

Schlimmer ist es mit dem, was zum Schornstein hinausgeht. Die Gase, die anfangs, im Verbrennungsraume, eine Temperatur von durchschnittlich etwa 1000° haben mögen, kühlen sich unter dem Kessel nicht bis auf die Lufttemperatur ab, sondern treten mit ungefähr 200° in den Schornstein ein, nehmen also ziemlich viel Wärme mit. Außerdem ist die Verbrennung nicht immer vollständig. Jedes Atom Kohlenstoff braucht 2 Atome Sauerstoff, um ganz zu Kohlen säuregas zu verbrennen und damit seine volle Energie zu entwickeln. Findet es bei der Eile, mit der die Gase abströmen, zufälligerweise nur ein Sauerstoffatom, so verbindet es sich auch damit — zu Kohlenoxydgas —, erzeugt aber dabei nicht so viel Wärme, wie wenn es sich mit zwei Atomen vereinigte. Ja, es kommt sogar vor, daß ganz unverbrannter Kohlenstoff als Ruß im Gasstrom mitgerissen wird. Wenn also schwarz gefärbte Verbrennungsgase entweichen, wenn der Schornstein „raucht“, so ist das ein schlechtes Zeichen für die Geschicklichkeit der Heizer. Nicht nur wird die Nachbarschaft durch den Ruß belästigt, sondern es entstehen auch große Betriebsverluste, die bei einer modernen Anlage auf keinen Fall zulässig

sind. Für den Maler hat ein industrielles Werk mit rauchendem Schornstein etwas Stimmungsvolles, der Techniker denkt aber, wenn er so etwas sieht, zuerst an die Kalorienverluste.

Will man feststellen, ob eine Feuerung richtig arbeitet, so sind vor allem die abziehenden Gase, die Verbrennungsgase, zu unter-

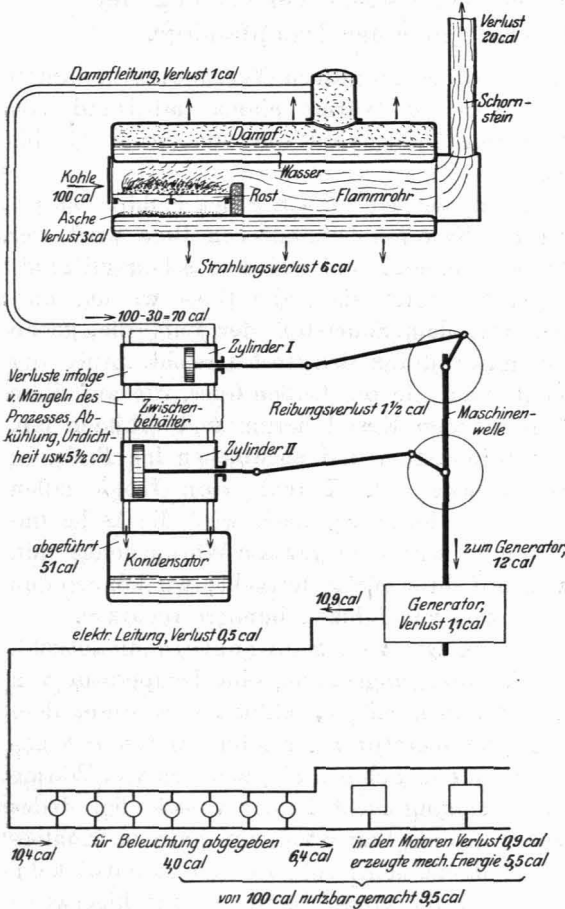


Abb. 102. Ausnutzung der Wärme in einer Dampf-anlage einfacher Ausführung zur Erzeugung von Elektrizität (TWL 4338).

suchen, d. h. es ist ihre Temperatur beim Eintritt in den Schornstein zu messen und ferner die Zusammensetzung festzustellen. Letzteres geschieht mit besonderen Apparaten, z. B. in der Weise, daß Proben aus dem Gas entnommen und in Gefäße gebracht werden, in denen sich Flüssigkeiten befinden, die bestimmte Bestandteile der Rauchgase aufnehmen. Hatte man z. B. 100 cm³ Rauchgas in die Flasche gebracht, in der die Kohlensäure zurückgehalten, „absorbiert“ wird, und findet man, daß nur 89 cm³ übrig geblieben sind, so geht daraus hervor, daß 11% Kohlensäure in dem Gas enthalten waren. Ist der Anteil an Kohlensäure zu gering, so ist das meistens ein Zeichen da-

für, daß zu viel Luft in die Feuerung hineingelassen wird; diese Luft ist unnötigerweise mit zu erhitzen und trägt ihren Anteil an Kalorien mit fort. Findet sich dagegen neben zu wenig Kohlensäure Kohlenoxyd, so zeigt das, daß die Feuerung nicht genügend Luft erhielt, um alle Kohlenstoffteilchen vollständig zu Kohlensäure zu verbrennen. Mißt man eine sehr hohe Temperatur der Ab-

gase, so ist daraus zu schließen, daß von dem Kessel mehr verlangt wird, als er eigentlich leisten kann. Infolge der zu energischen Heizung werden die Gase zu rasch am Kessel vorbei getrieben. Sie haben nicht genügend Zeit, ihre Hitze abzugeben, und nehmen zu viele Kalorien mit fort.

Die mit wissenschaftlicher Gründlichkeit arbeitende Technik begnügt sich nicht damit, bei Neuaufstellung des Kessels oder sonst von Zeit zu Zeit die Wirkung der Feuerung zu prüfen, sondern sie hat Mittel gefunden, um selbsttätig nachzuprüfen, ob der Kessel richtig arbeitet. Der Apparat, der für diesen Zweck konstruiert ist, entnimmt ganz selbsttätig die Rauchgasproben und zeichnet die Menge Kohlensäure, die zu jeder Tageszeit in dem Gas enthalten ist, laufend auf einem Papierstreifen auf, ganz entsprechend wie ein selbstregistrierendes Barometer.

Aus der Aufzeichnung in Abb. 103 erkennt man z. B., daß der Kohlensäuregehalt früh von 6 bis 8 Uhr etwas über 10% lag und sich mittags und nachmittags auf derselben Höhe gehalten hat, daß er aber einmal, um 9 Uhr, bis auf 7% herabgesunken ist.

Aus den Messungen läßt sich berechnen, wie groß der Wärmeverlust durch die Rauchgase ist. Wir wollen in unserem Falle annehmen, daß an dieser Stelle 20 von den 100 Kalorien verloren gehen.

Infolge der Wärme, die in das Wasser des Dampfkessels übergeht, will sich Dampf entwickeln. Wäre der Kessel offen, so würde das Wasser, wenn es sich auf 100° erhitzt hat, anfangen zu kochen, und der Dampf würde entweichen, ohne daß die Temperatur weiter steigt. Da der Kessel aber geschlossen ist, so kann der Dampf nicht fort, das Wasser erhitzt sich immer mehr, und der eingeschlossene Dampf ist immer energischer bestrebt, sich Freiheit zu verschaffen. Dies zeigt sich daran, daß der Druck im Dampfkessel steigt. Während bei 100° der Dampfdruck erst so groß war wie der Druck der äußeren Luft — was sich bei einem offenen Gefäß daran zeigt, daß die Dampfblasen frei aufsteigen —, ist er bei 120° schon doppelt, bei 180° 10 mal so groß. Wir sagen, der Dampf hat 2 bzw. 10 Atmosphären (at) Spannung. Nun ist zufälligerweise bei 1 at Spannung der Dampfdruck so groß, daß auf jedes cm^2 Fläche eine Kraft von 1 kg kommt. Wenn z. B. der Dampfkessel in Abb. 102 einen Durchmesser von 1 m oder 100 cm hat, so können wir uns die Kreisfläche des Bodens in Quadratzentimeter geteilt denken,

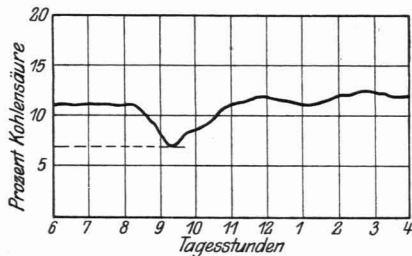


Abb. 103. Aufzeichnung eines selbsttätigen Rauchgasprüfers.

und auf jedes dieser Quadratcentimeter käme bei 8 at innerem Druck eine Kraft von 8 kg. Da die Fläche 7850 cm^2 enthält, so ist der gesamte Druck auf den Boden $8 \times 7850 = 62800 \text{ kg}$. Dagegen wirkt nun allerdings von außen der Luftdruck mit 1 kg auf 1 cm^2 , so daß 7850 kg abgehen und 54950 kg übrig bleiben, die bestrebt sind, die Wand nach außen zu drücken und zu verbiegen. Das ist so viel wie das Gewicht von 4 voll beladenen Eisenbahn-Güterwagen. Man kann sich leicht vorstellen, daß an den Kesselblechen Risse oder Verbeulungen auftreten können, wenn der Kessel nicht sorgfältig ausgeführt ist und richtig behandelt wird. In Deutschland ist deshalb vorgeschrieben, daß alle Dampfkessel, die hohen Druck auszuhalten haben, in regelmäßigen Abständen sorgfältig nachgesehen werden.

Der ganze Kessel ist eingemauert, und die Flammen und Rauchgase streichen zwischen dem Kessel und dem Mauerwerk her. Wenn nun auch das Mauerwerk nicht so leicht Wärme aufnimmt und überträgt wie die eiserne Kesselwand, so wird es doch selbstverständlich mit erhitzt und schluckt einen Teil der erzeugten Wärme, die es dann nach außen hin ausstrahlt wie ein Ofen. Diese Wärme ist verloren; bestimmen können wir sie auf folgende Weise. Es läßt sich leicht feststellen, wieviel Wasser von Beginn bis zu Ende der Versuchsdauer in den Kessel hineinbefördert ist. Alles dieses Wasser hat sich in Dampf von 8 at Spannung verwandelt, und dazu gehörte eine bestimmte Wärmemenge, die uns durch physikalische Versuche bekannt ist. Wenn sich nun herausstellt, daß von je 100 in die Feuerung hineingeschickten Kalorien 71 zur Dampferzeugung verwandt sind, so müssen im ganzen 29 Kalorien verloren gegangen sein. Der Verlust durch Verbrennungsrückstände betrug 3 Kalorien, zum Schornstein hinaus gingen 20 Kalorien. Es bleiben also 6 Kalorien übrig, die auf Rechnung der Ausstrahlung des Mauerwerkes gesetzt werden müssen¹⁾.

Durch ein eisernes Rohr wird der Dampf nach der Maschine geleitet. Auch hierbei treten Verluste auf infolge der Reibung, die der Dampf an den Wänden des Rohres findet, sowie infolge der Abgabe von Wärme an das Rohr und weiterhin an die umgebende Luft. Man packt zwar auch das Rohr gehörig ein, um diesen Verlust einzuschränken. Immerhin aber müssen wir damit rechnen, daß auf dem Wege bis zur Dampfmaschine noch 1 Kalorie verloren geht, so daß der Dampf mit 70 Kalorien Wärmeinhalt in den ersten Zylinder der Dampfmaschine eintritt, wo er seine Wärme in mechanische Arbeit umsetzen soll.

¹⁾ Ausdrücklich sei betont, daß die Ziffern nur als Beispielwerte gelten dürfen. Bei neuzeitlichen, gut ausgeführten und sorgfältig betriebenen Dampfmaschinen lassen sich die Verluste erheblich vermindern!

In welcher Weise diese Umwandlung vor sich geht, war bereits auf Seite 36 an Hand von Abb. 58 erläutert worden. Der Dampf steht, wenn er in den Zylinder eintritt, in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Dampf im Kessel und hat also dieselbe Spannung, nur etwas verringert infolge der Reibungsverluste in der Leitung. Er drückt also auf jedes Quadratcentimeter des Kolbens mit einer Kraft von beispielsweise 7 kg und schiebt den Kolben vor sich her. Ist der Dampfzutritt abgesperrt, so sucht der Dampf sich trotzdem noch weiter auszudehnen und leistet Arbeit, während seine Spannung nach und nach abnimmt.

Nun treten auch hier, bei der Nutzbarmachung des erzeugten Dampfes, große Verluste auf, und zwar aus verschiedenen Ursachen. Der Hauptverlust rührt daher, daß der Dampf, wenn er aus der Maschine austritt, eine Menge Wärme mit sich führt. Läßt man den Dampf in die freie Luft entweichen, so hat er noch eine Temperatur von 100° Celsius und würde dabei von den 70 Kalorien, die er beim Eintritt in die Maschine hatte, wenigstens 60 mitnehmen. Mit anderen Worten, es würden nur 10 Kalorien zur Verfügung stehen, die man in der Maschine auszunutzen versuchen könnte, von denen aber auch noch wieder ein großer Teil verloren geht. Bei größeren Maschinenanlagen, wo es darauf ankommt, Kohle zu sparen, kondensiert man deshalb den Dampf, d. h. man läßt ihn in einen Raum eintreten, in den kaltes Wasser eingespritzt wird. Dabei verwandelt er sich selbst wieder zu Wasser und kommt meist auf eine Temperatur von 35 bis 60° herunter, entsprechend einer Dampfspannung von nur $\frac{1}{16}$ bis $\frac{1}{5}$ at¹⁾. Wir haben also in dem „Kondensator“ einen viel geringeren Druck als außerhalb in der freien Luft, wo 1 at Druck herrscht. Der Zustand ist derselbe, wie wenn aus einem Gefäß durch eine Luftpumpe die Luft zum größten Teil entfernt ist, so daß außen ein größerer Druck herrscht als innen. Um den Vorgang recht anschaulich zu machen, sei wieder auf ein Beispiel aus dem Haushalt verwiesen. Beim Einmachen von Früchten mit dem sogenannten Weck-Apparat werden bekanntlich die Gläser nach Einfüllen der Früchte verschlossen und auf ziemlich hohe Temperatur erhitzt, die alle Keime tötet. Bei dieser Erhitzung bilden sich nun aus der Flüssigkeit Dämpfe, welche die in dem Glase noch enthaltene Luft austreiben. Läßt man dann die Gläser sich abkühlen, so kondensieren die Dämpfe, in dem Glase bleibt nur noch ein ganz niedriger Druck zurück, und der äußere Luftdruck, der sehr viel stärker ist, preßt den Deckel fest auf das Glas bzw. auf den zwischengelegten Gummiring. So entsteht ein

¹⁾ 1 at (Atmosphäre) entspricht einem Druck von 1 kg auf jedes Quadratcentimeter (1 kg/cm^2).

dichter Verschuß, ohne daß man eine Klammer oder dergleichen anzuwenden braucht.

Bei der Untersuchung einer Dampfmaschine, die mit einem „Kondensator“ arbeitet, brauchen wir uns nun um den äußeren Luftdruck überhaupt nicht zu kümmern, denn der Kolben kommt nur mit dem Dampf und nicht mit der äußeren Luft in Berührung. Für uns kommt also nur der „absolute Dampfdruck“ in Frage, nicht der Über- oder Unterdruck gegenüber der Atmosphäre.

Nehmen wir jetzt einmal an, der Dampf träte mit 7 at Druck in den Zylinder der Dampfmaschine ein, und wir ließen ihn frei ein-

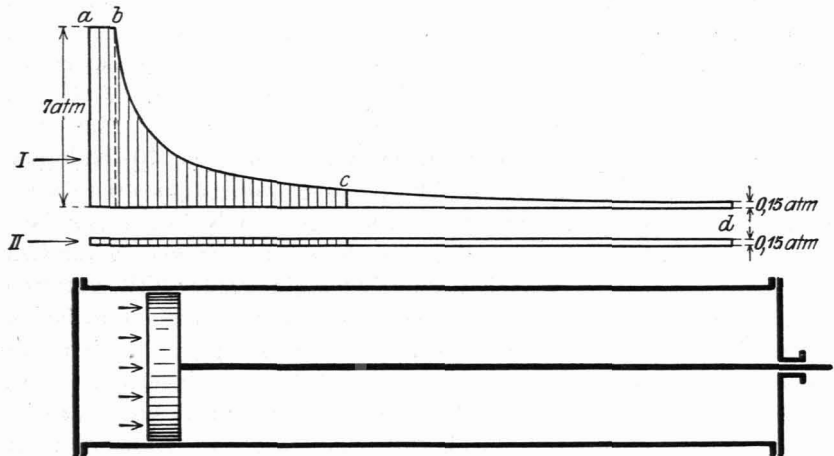


Abb. 104. Arbeitsweise des Dampfes im Zylinder.

strömen, während der Kolben in Abb. 104 sich von a bis b bewegt, so daß der Druck von 7 at sich im Diagramm, in dem die Spannungen eingetragen sind, nicht ändert. Ist der Kolben im Punkte b angekommen, so wird plötzlich der Dampfzutritt unterbrochen, und die Folge ist, daß der Dampf sich ausdehnt, wenn der Kolben weiter vorwärts geht, dabei aber an Spannung verliert, so daß der Druck, der auf den Kolben wirkt, kleiner wird. Wollten wir das Arbeitsvermögen des Dampfes voll ausnützen, so müßten wir es ihm ermöglichen, sich so weit auszudehnen, bis er auf die Spannung von 0,15 at heruntergekommen ist, mit der er in den Kondensator übertritt, also bis zum Punkte d in Abb. 104. Damit bekämen wir aber einen ungeheuerlich langen Zylinder und würden wenig Arbeit gewinnen, weil auf diesem langen Wege verhältnismäßig viel nutzlose Arbeit zur Überwindung der Kolbenreibung zu leisten wäre. Daher schneiden wir einfach ein Stück des Diagrammes ab und lassen den Kolben beispielsweise nur bis zum Punkt c gehen. Hier

wird der Auslaß des Zylinders geöffnet, und der Dampfdruck fällt plötzlich auf die Spannung von 0,15 at herunter. Mit diesem Verkürzen der Dampfausdehnung ist aber selbstverständlich ein Verlust an Arbeitsenergie verbunden, den zu buchen wir nicht vergessen dürfen.

Auf dem Rückweg findet der Kolben, wie schon erwähnt, einen unveränderten Widerstand, der der Dampfspannung von 0,15 at im Kondensator entspricht (vgl. Diagramm II in Abb. 104). Wie auf S. 39 auseinandergesetzt, gibt der schraffierte Inhalt der Diagrammfläche I ein Maß für die vom Dampf auf den Kolben übertragene, also für die gewonnene Arbeit, der Inhalt der Diagrammfläche II dagegen ein Maß für die Arbeit, die der Kolben hat aufwenden müssen, um den Dampf herauszuschieben und in seine alte Stellung zurückzukehren. Der Einfachheit halber zeichnen wir die Diagramme nicht getrennt voneinander, sondern ziehen die gewonnene und die aufgewendete Arbeit gleich im Diagramm voneinander ab, indem wir die Linien untereinander zeichnen. Die schraffierte Fläche in Abb. 105 gibt uns dann die Arbeit, die bei einem Hin- und Rückgang des Kolbens tatsächlich gewonnen worden ist.

In Wirklichkeit sieht nun ein Dampfdiagramm noch ein wenig anders aus. Zunächst ist es nicht möglich, den Kolben so dicht bis an die Rückwand des Zylinders heranzuschieben, daß gar kein freier Raum mehr zwischen beiden bleibt. Dieser freie Raum muß jedesmal zunächst mit Dampf gefüllt werden, ohne daß dabei eine Arbeit geleistet wird. In dem Diagramm der Abb. 106 ist dieser sogenannte „schädliche Raum“, der einen Teil des Dampfes verschluckt, durch die Strecke von 0 bis a gekennzeichnet. Allerdings dehnt dieser Dampf sich nachher mit aus, sein Arbeitsvermögen ist also nicht etwa ganz verloren. Außerdem läßt sich die nachteilige Wirkung des schädlichen Raumes dadurch mildern, daß man den Dampf beim Rückgang des Kolbens nicht vollständig in den Kondensator schieben läßt, sondern im Punkt e den Austritt zusperrt, so daß der Kolben, wenn er weitergeht, jetzt den Dampf zusammen-

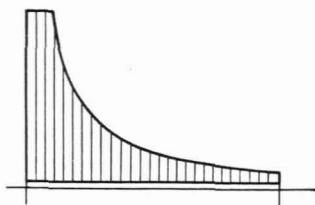


Abb. 105. Dampfdiagramm in einfachster Form.

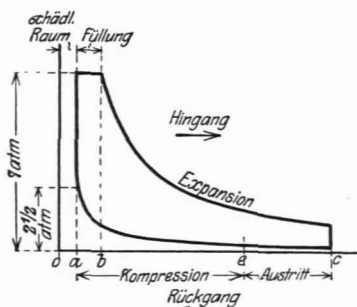


Abb. 106. Vervollständigtes Dampfdiagramm.

drücken oder verdichten wird, wobei seine Spannung bis nahe auf die Eintrittsspannung steigen kann. Wenn hierdurch auch die Diagrammfläche, die die Arbeit angibt, verkleinert wird, so wird dafür doch der größte Teil des Dampfes gespart, der sonst zum Auffüllen des toten Raumes notwendig war, so daß im Verhältnis zur geleisteten Arbeit weniger Dampf verbraucht wird. So entsteht das vollständige Diagramm nach Abb. 106.

Verluste entstehen nun weiterhin noch dadurch, daß der Abschluß der Ein- und Austrittöffnungen niemals ganz präzise vor sich geht. Die Öffnungen werden allmählich geschlossen, und ehe z. B. der Dampfeintritt ganz abgesperrt ist, hat sich die Zutrittsöffnung schon so verengt, daß die Spannung des eintretenden Dampfes sich erheblich vermindert. Im Diagramm zeigt sich das dadurch, daß die Linie der Dampfspannung schon vor dem Punkt *b* zuerst langsam, dann rascher sinkt und schließlich ganz allmählich in die Ausdehnungslinie übergeht. Ebenso runden sich auch die übrigen Ecken im Diagramm ab, und man erhält schließlich eine Figur, wie sie Abb. 107 zeigt.

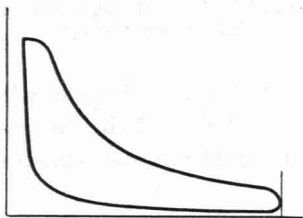


Abb. 107. Praktisch erzielbares Dampfdiagramm.

Eins ist bei der Betrachtung unserer Druckdiagramme noch gar nicht besprochen worden, nämlich, nach welchen Gesetzen die Ausdehnung

des Dampfes vor sich geht. Frischer Dampf, und damit neue Wärme oder neues Arbeitsvermögen, wird nur auf dem Kolbenwege von *a* bis *b*, Abb. 106, zugeführt; auf dem Wege *bc* müßte also in jedem Augenblick im Dampf noch diejenige Wärme enthalten sein, die nicht in mechanische Arbeit verwandelt ist. Danach ließe sich bestimmen, wie die Expansionslinie *bc* verläuft. Leider aber haben wir bei dieser Überlegung einen Fehler gemacht. Der frische Dampf hat ja eine sehr hohe Temperatur — bei 7 at 164° Celsius —, während der Austrittsperiode dagegen beträgt seine Temperatur nur noch 54° . Die Zylinderwände und der Kolben, die vom Dampf erhitzt werden, müssen eine mittlere Temperatur annehmen, und die Folge ist, daß sie, wenn der frische Dampf eintritt, Wärme aufnehmen, d. h. dem Dampf Wärme entziehen, nachher aber, gegen den Schluß der Dehnung und während des Austrittes, Wärme an den Dampf abgeben. Hieraus folgt, daß ein Teil des frisch eintretenden Dampfes infolge der Wärmeentziehung kondensiert, d. h. in Wasser verwandelt wird, und daß die Dehnungslinie wesentlich anders verläuft, als sonst der Fall sein würde.

Der Verlust infolge des Wärmeüberganges zwischen dem

Dampf und der Zylinderwand ist so groß, daß man vielerlei Mittel angewandt hat, um ihn zu verringern. Das wichtigste ist die Teilung der Dehnung, d. h. man läßt den Dampf nicht in einem und demselben Zylinder von der ursprünglichen Spannung — in unserem Falle 7 at — bis herunter auf 0,15 at sich ausdehnen, sondern im ersten Zylinder nur auf eine mittlere Spannung, z. B. auf 2 at, und in einem zweiten Zylinder dann auf die Kondensatorspannung. Das Temperaturgefälle im ersten Zylinder beträgt dann $164 - 120 = 44^{\circ}$, und im zweiten Zylinder $120 - 54 = 66^{\circ}$. Eine solche Maschine ist auch der Darstellung in Abb. 102 zugrunde gelegt. Der Dampf strömt, nachdem er im Zylinder *I* seine Spannung auf ungefähr 2 at vermindert hat, zunächst in einen Zwischenbehälter und dann in den Zylinder *II*, der erheblich größer sein muß, weil der Dampf sich ja schon ausgedehnt hat und bei dieser geringen Spannung viel mehr Raum einnimmt.

Es mag auf den ersten Blick kaum glaubhaft erscheinen, daß es sich lohnt, die Maschine durch die Teilung der Zylinder so viel verwickelter und teurer zu machen, nur um den Wärmedurchgang durch die Zylinderwände zu verringern und einige andere kleinere Vorteile zu erreichen. Tatsächlich aber zeigt die Erfahrung, daß die Überlegungen, die zum Bau der Maschinen mit zweifacher Dampfdehnung, der sogenannten „Verbundmaschinen“, geführt haben, richtig waren. Denn sie verbrauchen 20 bis 30% weniger Dampf als gewöhnliche Einzylindermaschinen.

Sowohl den Einzylinder- wie den Mehrzylindermaschinen kommt ein anderes Mittel zugute, die Zylinder-Heizung. Der Zylinder wird mit einem Dampfmantel oder Dampfhemd umgeben, d. h. er erhält eine doppelte Wandung, und der Hohlraum, der auf diese Weise gebildet ist, steht in dauernder Verbindung mit dem Kessel, so daß der im Mantel enthaltene Dampf immer auf der Spannung von 7 at und die Temperatur auf 164° bleibt. Infolgedessen wird der Zylinderwand beständig von außen her Wärme zugeführt, so daß sich der Dampf nicht so leicht wie Wasser daran niederschlägt. Erfahrungsgemäß geht die Wärme viel leichter an die Zylinderwand über, wenn diese naß, als wenn sie trocken ist. Obwohl nun für die Zylinderheizung beständig Dampf verbraucht wird — denn durch die Abgabe von Wärme schlägt der Dampf in dem Mantel sich als Wasser nieder —, so haben doch die Versuche eine beträchtliche Ersparnis an Dampf, etwa 10 bis 15%, ergeben.

Ähnliche Wirkung hat ein viertes Mittel, durch das die Verluste verringert werden sollen, nämlich die Überhitzung des Dampfes. Erhitzt man den Dampf noch besonders, nachdem er den Kessel verlassen hat, so kann er sich im Zylinder schon ziemlich beträcht-

lich abkühlen, ohne daß er bis auf die Temperatur herunterkommt, bei der ein Niederschlag von Wasser stattfindet. Gewöhnlich wird der Dampf auf 300 bis 350° überhitzt. Man kann sich vorstellen, daß es nicht ganz leicht war, die Dampfmaschine so auszubilden, daß sie durch diese hohen Temperaturen im Betriebe keinen Schaden leidet. Durch unverdrossene Arbeit ist es aber gelungen, alle Schwierigkeiten zu überwinden, und die Folge ist, daß die modernen Dampfanlagen durchweg mit überhitztem Dampf arbeiten.

Die Anwendung sehr hoch gespannten Dampfes, die neuerdings angestrebt wird, trägt namentlich bei Gegendruckmaschinen zur Verbesserung des Wirkungsgrades bei (vergl. S. 133 u. f.).

Die Mittel, die besonders zur Verringerung des Wärmeüberganges im Zylinder angewandt sind und an deren Verbesserung noch weiter gearbeitet wird, sind so ausführlich besprochen worden, weil gezeigt werden sollte, wie die Technik es sich nicht verdrießen läßt, auch auf schwer gangbaren Wegen und auf mühseligste Weise nach Mitteln zu suchen, um die Verlustquellen zu verstopfen und den Kohleverbrauch, der stündlich für jede erzeugte Pferdekraft aufzuwenden ist, um einige Zehntel Kilogramm herunterzudrücken¹⁾. Nur durch streng wissenschaftliche Arbeit ist es möglich, Erfolge zu erreichen. Denn die Ursachen der Verluste sind so zahlreich, daß es gar nicht denkbar wäre, mit einfachen Mitteln, z. B. dadurch, daß man die Menge der verbrauchten Kohle und die erzeugte mechanische Arbeit mißt, der Aufgabe auf den Grund zu kommen. Man kann auf diese Weise wohl feststellen, daß die eine Anlage gut und die andere schlecht arbeitet, doch ist es nicht möglich, aus einem solchen Versuche mit Sicherheit zu folgern, wo der Fehler liegt, oder welche Wirkung die einzelnen Mittel gehabt haben, die angewandt worden sind. Eine große Rolle spielt ja auch noch die Güte der Werkstattausführung. In einer schlecht gearbeiteten Maschine ist nicht nur die Reibung größer, sondern es kommt dazu, daß die Vorrichtungen, durch die der Dampf abgesperrt wird, weniger gut dicht halten, und auch am Kolben vorbei tritt Dampf von der einen Seite, wo hoher Druck herrscht, auf die andere Seite über, wo der Druck niedrig ist, so daß der Dampf unmittelbar in den Kondensator strömt und verloren geht, ohne Arbeit geleistet zu haben.

¹⁾ Wenn auch die Kolbendampfmaschine einerseits durch die Dampfturbine, andererseits durch den Verbrennungsmotor zurückgedrängt ist, so hat sie hier doch eine so ausführliche Besprechung gefunden, weil sie ein besonders gutes Lehrbeispiel darstellt. Für manche Anwendungsfälle ist sie übrigens keineswegs überholt; in neuzeitlicher Form beginnt sie sogar wieder neue Gebiete zu erobern (vgl. S. 122).