

6. Indizieren der Dampfmaschine.

Wenn man also nicht nur nachprüfen will, ob eine Maschine mit dem Kohlenverbrauch auskommt, den der Lieferer gewährleistet hatte, sondern aus den Versuchsergebnissen Folgerungen zu ziehen wünscht, die für eine weitere Verbesserung der Maschine den Weg weisen, so bleibt nichts übrig, als den Weg der Wärme Schritt für Schritt zu verfolgen und an jedem Punkt mit dem Versuch einzusetzen, wo es nur überhaupt möglich ist, um in der Erkenntnis ein kleines Stück weiter zu kommen.

Wir hatten ja oben schon gesehen, wie die Verluste bei der Erzeugung und Fortleitung des Dampfes bis zur Dampfmaschine gemessen werden können. Nun kommt es darauf an, festzustellen, wie der Dampf im Zylinder der Maschine arbeitet.

Hierzu dient uns ein ganz außerordentlich nützliches und dabei einfaches Instrument, der sogenannte Indikator, der das Diagramm, wie es in Abb. 107 skizziert wurde, selbsttätig aufschreibt, so daß wir nachträglich ablesen können, wie hoch der Dampfdruck bei jeder Stellung des Kolbens gewesen ist.

Wie ein solcher Indikator wirkt, ist nach Abb. 108 leicht zu verstehen. Er besteht aus einem Zylinder, in dem sich ein Kolben bewegt, der grundsätzlich ähnlich wie ein Dampfmaschinenkolben, aber natürlich im Verhältnis sehr klein ist. In der Abbildung ist der Indikator in verzerrem Maßstab, d. h. viel zu groß gezeichnet. Durch eine Feder wird dieser Kolben nach unten gedrückt. Bringt man nun durch ein Verbindungsrohr den Zylinder des Indikators mit dem Zylinder der Dampfmaschine in Verbindung, so daß der Dampf frei von dem einen in den andern übertreten kann, so muß in beiden immer die gleiche Spannung herrschen. Oben war angenommen, daß der Dampf mit 7 at in den Zylinder eintritt; er übt dann also auf jedes Quadratcentimeter des Indikatorkolbens von unten her einen Druck von 7 kg aus. Hat der Kolben einen Durchmesser von 2 cm, so ist die Fläche, auf die der Dampf drückt, $3,14 \text{ cm}^2$ groß, und die Feder wird mit einer Kraft von $3,14 \times 7 = 22 \text{ kg}$ zusammengepreßt. Der Kolben geht dabei um ein gewisses Stück in die Höhe und bewegt den Schreibhebel, an dessen Ende ein Schreibstift sitzt. Die Einrichtung kann z. B. so getroffen werden, daß eine Atmosphäre mehr den Schreibstift immer um 1 cm höher bewegt. Bei dem Anfangsdruck von 7 at steht dann also der Schreibstift 7 cm höher, als er bei der Spannung 0, d. h. bei vollkommener Luftleere im Zylinder, stehen würde.

Den Schreibstift drücken wir nun gegen ein Blatt Papier, das genau ebenso hin- und hergezogen wird, wie der Kolben hin- und

hergeht. Dies läßt sich leicht mit einer Schnur bewerkstelligen, die an einem Arm festgemacht ist, den wir an dem Kreuzkopf der Dampfmaschine anbringen. Die Schnur läuft über ein paar Rollen nach dem Blatt Papier und zieht es in Abb. 108 nach links, wenn der Kolben sich nach rechts bewegt. Hat sich also der Kolben der Dampfmaschine z. B. um 16 cm bewegt, so hat das Papier denselben Weg gemacht (vgl. Stellung II). In diesem Moment zeichnet der Indikatorkolben vielleicht einen Dampfdruck von 3 at auf.

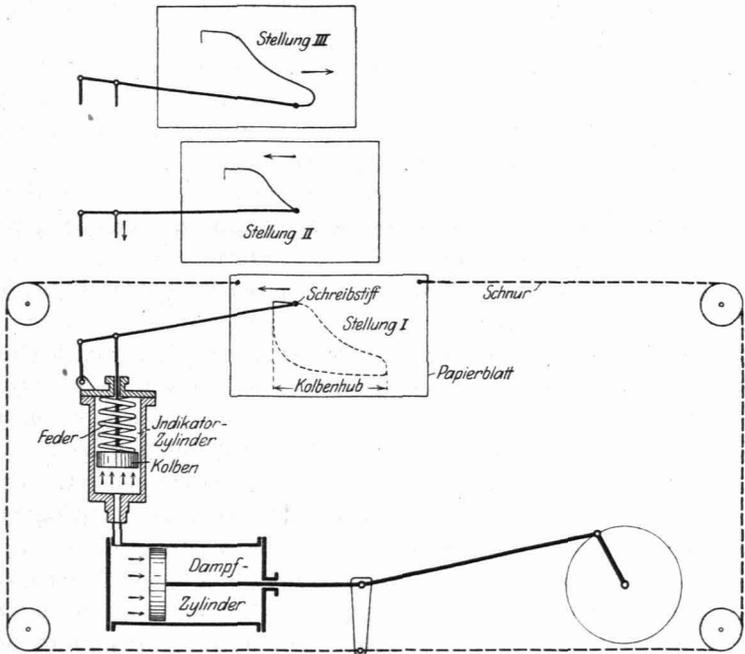


Abb. 108. Untersuchung einer Dampfmaschine mit dem Indikator (TWL 10860).

Da der Kolben dauernd an dem Blatt anliegt, so entsteht eine zusammenhängende Linie für den Hingang und ebenso auch für den Rückgang des Dampfkolbens, wir erhalten also von dem Indikator ganz selbsttätig das Dampfdiagramm, das, wie auf S. 39 erörtert, nicht nur den Dampfdruck in jedem Augenblick anzeigt, sondern, wenn wir seinen Inhalt ausmessen, auch sagt, wie groß die Arbeit war, die der Dampf auf den Kolben übertragen hat.

Sodann kann man aber aus dem Diagramm noch vieles andere über das Arbeiten der Maschine lernen. Wir können sehen, an welcher Stelle der Dampf anfängt sich auszudehnen, welchen Weg also der Kolben bereits zurückgelegt hatte, als der Dampf abgesperrt wurde. Daraus ergibt sich, wie groß der Raum ist, der bei

jedem Vorwärtsgang des Kolbens mit Dampf gefüllt wird. Da wir gleichzeitig zählen, wie oft die Maschine in einer bestimmten Zeit hin- und hergegangen ist, wie oft sie also diese Füllung empfängt, so läßt sich der Dampfverbrauch der Maschine berechnen. Nun zeigt sich häufig, daß der Dampfverbrauch, der so bestimmt wurde, kleiner ist als die Dampfmenge, welche die Rohrleitung an den Zylinder abgeliefert hat. Daraus ist zu schließen, daß sich ein Teil des Dampfes beim Eintritt in den Zylinder an den Wänden niederschlägt und nicht mehr zur Wirkung kommt, falls er nicht etwa nachträglich während der Expansion wieder verdampft. Auch dieses letztere läßt sich mit einiger Sicherheit feststellen. Wenn nämlich in Abb. 109 die Ausdehnung des Dampfes bei a beginnt, so wissen wir ganz genau, welche Dampfmenge in diesem Augenblick im Zylinder war. Befände sich am Schluß der Ausdehnung noch die gleiche Menge Dampf darin wie vorher, so müßte die Expansionslinie an einem bestimmten Punkt, bei c , endigen. Verläuft sie nun statt dessen weiter oberhalb, wie gestrichelt angedeutet, so daß sie bei g endet, so können wir daraus schließen, daß der Dampfgehalt des Zylinders sich vermehrt hat, daß also Wasser, das sich vorher niedergeschlagen hatte, nachträglich verdampft sein muß. Zeigt sich andererseits, daß die Linie erheblich tiefer endet, z. B. bei h , so ergibt sich, daß eine gewisse Menge Dampf verschwunden sein muß, und dies läßt sich nur daraus erklären, daß der Kolben undicht ist, so daß ein Teil des Dampfes daran vorbei auf die andere Kolbenseite strömt. Das Diagramm läßt erkennen, wie groß die Arbeit ist, die auf diese Weise verloren geht.

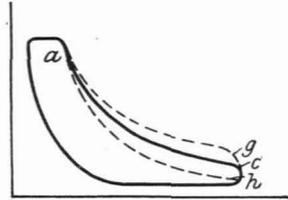


Abb. 109. Anzeichen von Nachverdampfung bzw. Undichtigkeit des Kolbens im Diagramm.

Auch über andere Fehler an der Maschine gibt das Diagramm Auskunft. Bei dem Diagramm nach Abb. 110 ist der Dampf beim Rückgang des Kolbens bis auf eine Spannung von 9 at zusammengedrückt worden, während die Eintrittsspannung nur 7 at beträgt. Die Dampfspannung sinkt plötzlich, wenn die Verbindung nach dem Kessel hin geöffnet wird, und für das Zusammendrücken des Dampfes ist demnach eine ganz beträchtliche Arbeitsmenge unnütz aufgewandt. Die Steuerung der Absperrorgane muß geändert werden, so

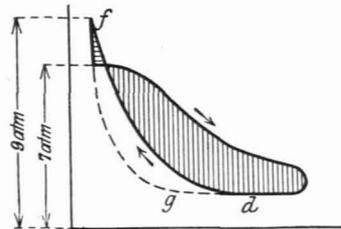


Abb. 110. Diagramm mit zu starker Verdichtung.

daß die Verdichtung, wie gestrichelt angedeutet, erst bei g statt bei d beginnt und auf 7 at Spannung endigt. Die Fläche des Diagramms wird dadurch ganz bedeutend, der gestrichelten Linie entsprechend, vergrößert und die vom Kolben geleistete Arbeit vermehrt.

Wir können also mit dem Indikator in die Dampfmaschine hineinblicken und uns über das Arbeiten ihrer inneren Organe Klarheit verschaffen. Über die meisten Krankheiten, an denen eine Maschine leiden kann, läßt sich auf diese Weise rasch und sicher eine Diagnose stellen.

7. Energiebilanz und wirtschaftliche Bilanz einer Dampfkraftanlage.

Selbstverständlich werden auch an allen anderen Stellen die Vorgänge so genau wie möglich verfolgt und die Verluste bestimmt. So wird bei jedem Versuch das niedergeschlagene Wasser abgefangen und gemessen. Z. B. kühlt sich der Dampf, der in den Heizmantel eines Zylinders geschickt wird, fortdauernd ab, schlägt sich nieder und wird durch neuen ersetzt. Die Bestimmung der niedergeschlagenen Menge ergibt den Wärmeverlust an diesem Punkte.

Bestimmt man endlich den Wärmehalt, den der Dampf noch hat, wenn er an den Kondensator abgeführt wird, so muß die Rechnung aufgehen. Die an den Kolben abgegebene und durch den Indikator gemessene Arbeit ist gleich der im Dampf zugeführten Energie (70 cal) abzüglich der in den Kondensator gehenden Wärme (51 cal) und der Verluste bei der Ausführung des Arbeitsprozesses seitens des Dampfes ($5\frac{1}{2}$ cal). Bei den hier gemachten Annahmen (vergl. Abb. 102, S. 96) bleibt ein Rest: $70 - 5\frac{1}{2} - 51 = 13\frac{1}{2}$ Kalorien als durch den Indikator gemessene, vom Dampf tatsächlich geleistete Maschinenarbeit.

Da im vorliegenden Falle die Dampfmaschine einen Generator antreibt und elektrischen Strom erzeugt, so sind die weiteren Verluste ziemlich leicht zu bestimmen. Elektrische Arbeit kann nämlich sehr bequem gemessen werden; in Privathäusern, wo elektrisches Licht verbraucht wird, haben wir ja auch sogenannte Wattstundenzähler, die angeben, wieviel elektrische Energie in einer bestimmten Zeit verbraucht ist. Ähnliche Instrumente geben im großen die vom Generator erzeugte Arbeit an. Wie groß die Verluste im Generator selbst sind, läßt sich erfahrungsgemäß ziemlich sicher sagen — in dem Beispiel ist angenommen 1,1 Kalorien. Wenn der Generator nach den Angaben der Meßinstrumente 10,9 Kalorien in Form von elektrischer Arbeit abgibt, so muß er also 12 Kalorien empfangen