

Die Expansionslinie.

Unter der Annahme, dass die Spannungen des expandirenden Dampfes einfach dem Mariotte'schen Gesetze folgen, erhält man eine Curve, welche in der Mehrzahl der Fälle jener ziemlich nahe kommt, welche der Indicator schreibt und deren Ordinaten den thatsächlichen Spannungen entsprechen. Die Annäherung der theoretischen an die wirklichen Spannungen erscheint nicht allgemeiner oder besser, auch wenn ein anderes Dampfspannungsgesetz zu Grunde gelegt würde.

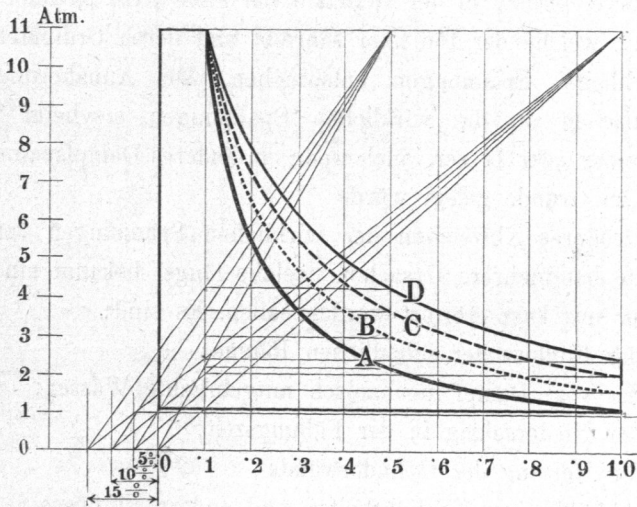
Größeres Abweichen der wirklichen Spannungen von der Mariotte hat mehrere Ursachen, welche längst bekannt sind und die hier nur kurz erörtert werden sollen. Es sind:

- a) der Einfluss der schädlichen Räume;
- b) das vom Dampf mechanisch mitgebrachte Wasser;
- c) der Niederschlag in der Füllungszeit;
- d) die Heizung der Cylinderwände;
- e) Abkühlungen, Undichtheiten und andere Einflüsse.

a) Die schädlichen Räume. Bei einer mit Vollfüllung und ohne Compression arbeitenden Maschine wäre der Name „schädlich“ für jeden außerhalb des Kolbenweges, aber innerhalb des Dampfabschlussorganes gelegenen Raum im strengsten Wortsinne und ohne jede Milderung zutreffend. Er bedeutet dabei directen Dampfverlust, Abkühlfläche und Verzögerung des Druckanstieges. Vortheile wären mit ihm, mit Ausnahme der Sicherheit gegen Wasserschläge oder gegen das Anstoßen des Kolbens an den Cylinderdeckel, keine verbunden.

Bei Verwendung der Expansion und Compression verringert sich aber der sonst durch ihn bedingte directe Dampfverlust und dies selbst bis nahezu Null, wenn letztere bis zur Höhe der Anfangsspannung getrieben wird. Da er nun allein die Compression ermöglicht und damit den Gleichgang der Maschine zu steigern erlaubt, verdiente er insbesondere vom Standpunkt hoher Kolben-

Fig. 54



geschwindigkeit und so lange er nur mäßige Größe besitzt eine gemilderte Bezeichnung.

Durch den schädlichen Raum wird die Expansionslinie gehoben, indem der ihn füllende Dampf nach Abschluss der Füllung theilweise in den Cylinder tritt und an der Expansion theilnimmt.

Zeichnet man in Fig. 54 die Expansionslinie erst ohne Rücksicht auf schädlichen Raum nach dem Mariotte'schen Gesetze (A) und dann unter Annahme von 5, 10 und 15% als Volumen der Dampfwege etc. als die darüber liegenden Curven B, C und

D, so ergibt sich in deren Ueberragungen gegen *A* das Maß jener Arbeiten, welche von dem Dampfe in den schädlichen Räumen herrührt.

Ohne Verwendung der Compression wären diese, u. zw. insbesondere bei hochexpandirenden Maschinen, wahrhaft schädlich, wie die folgende aus dem Diagramm Fig. 54 u. a. berechnete Zusammenstellung von Gewinn und Verlust ergibt:

Schädlicher Raum	0	5	10	15 Percent
bei ·10 Füllung				
Verhältniss der Arbeit	1	1·28	1·5	1·68
Verhältniss des Dampfverbrauches .	1	1·5	2·0	2·5
Dampf per Stunde und Pferd z. B.	7·5	8·78	10	12·2 Kil.

Für größere Füllungen werden die Verhältnisse relativ günstiger:

bei ·5 Füllung				
Verhältniss der Arbeit	1	1·017	1·025	1·035
Verhältniss des Dampfverbrauches .	1	1·1	1·2	1·3
Dampf per Stunde und Pferd z. B.	11·8	12·6	13·8	14·8 Kil.
bei Vollfüllung (Arbeit stets gleich)				
Dampfverbrauch	1	1·05	1·1	1·15
Dampf per Stunde und Pferd z. B.	20	21	22	23 Kil.

Wenn sich nun auch der directe Dampfverlust durch die schädlichen Räume mittelst der Compression bis zur vollen Anfangsspannung größtentheils vermeiden lässt, so ergeben sich doch wieder andere Nachtheile hiedurch. Nicht nur dass die Compression aus den Gründen, welche Seite 97 unter *h*) erörtert wurden, nicht bis zur vollen Höhe steigen soll, wird selbst deren für eine höchste Gleichmäßigkeit der Drehkraft nöthige Einstellung dann schon schwierig, wenn die schädlichen Räume sehr groß sind, wie dies insbesondere bei Kolbensteuerungen vorkommt. Hier muss die Ausströmung frühzeitig geschlossen, und ein langhin wirkender Gegendruck geduldet werden, der selbst die Leistungsfähigkeit der Maschine empfindlich schwächt. Solch eine Maschine

muss daher größere Abmessungen erhalten, und wird schwerer und theurer als eine gleich starke Concurrentin mit kleinerem schädlichem Raum.

Hievon abgesehen, ist aber der schädliche Raum auch noch wegen seiner großen Oberfläche immer schädlich, und die Abkühlfläche, welche sich dem Füllungsdampfe und der Compression darbietet, und der hieraus erwachsende Verlust weitaus größer, als es den Volumverhältnissen nach scheint.

Der durch ihn bedingte Druckanstieg wird immer bereits im theoretischen Diagramme seinen Ausdruck finden und in den Constructionen oder Specialrechnungen für die Kolbengeschwindigkeit berücksichtigt werden müssen.

Wenn dies hier bisher für die allgemeinen Formeln nicht geschah, so ward hiedurch nur dem Gebot der Einfachheit und Uebersichtlichkeit gefolgt. Nach der Rankine'schen Construction der Expansionslinie ist auch nicht die mindeste Schwierigkeit oder Mehrarbeit mit dem Einbezuge der schädlichen Räume in das Studium der Geschwindigkeitsverhältnisse einer Dampfmaschine verknüpft.

b) Das vom Dampfe mechanisch mitgebrachte Wasser schwimmt in demselben so lange gleichsam leblos, als es seine Temperatur beibehält. Sinkt aber diese in Folge der Expansion, so treten hier alle Erscheinungen des plötzlich entlasteten Wassers, welches wir für die Kessel so fürchten, wenn auch nur in nachsteigender und nicht plötzlicher Weise auf, und wie kurz die Zeit eines Hubes auch sein mag, die spontane Dampfbildung des mitgerissenen und entlasteten Wassers hebt den Druck.

Wir haben leider bis heute noch kein genügendes Mittel, den Wassergehalt eines Maschinenbetriebsdampfes selbst nur mit annähernder Genauigkeit directe zu messen.

c) Der Niederschlag in der Füllungszeit. Das in der Füllungsperiode an den Cylindern aus dem frischen Dampfe condensirte und während der Expansion und der Ausströmung wieder verdampfende Wasser übt einen größeren Einfluss auf den Gesamtverbrauch, als man lange Zeit angenommen hat.

Je größer der Wärmeunterschied zwischen den, insbesondere während der Ausströmung abgekühlten Cylinderwandungen und dem frisch eintretenden Dampfe ist, also je kleiner die Füllungen, je langsamer der Kolbengang und je tiefer die Ausströmtemperaturen, also die Umstände sind, welche die Abkühlung der Innenflächen bedingen, ein desto größerer Betrag des pro Hub einströmenden Kesseldampfes entsinkt demselben sofort bei seinem Eintritte als Niederschlagswasser. Dessen Menge erhöht den thatsächlichen Dampfverbrauch oft auf das $1\frac{1}{2}$ -, ja 2fache des nützlichen Betrages.

Bei hoher Füllung, großer Geschwindigkeit und hoher Ausströmtemperatur, z. B. in den Hochdruckcylindern der Verbundmaschinen ist dieser Niederschlag gering, und dieser vermag während der Expansionszeit entweder gänzlich oder doch zum größten Theile wieder zu verdampfen.

Eine Mantelheizung unterstützt dieses Verdampfen und liefern die Kessel an und für sich trockenen Dampf, so kann am Hubende selbst gar kein Wasser mehr in den Cylindern vorhanden sein.

Die Expansionslinie steigt nun in Folge dieses Nachverdampfens, und thatsächlich zeigen die aus den Indicator diagrammen nachgerechneten Gewichte des in einem Cylinder enthaltenen Dampfes meist einen Zuwachs gegen das Hubende zu.

Ein Abfallen der Drücke des expandirenden Dampfes und eine daraus erwachsende Gefahr für die zulässige Kolbengeschwindigkeit ist daher unter solchen Verhältnissen, und insbesondere bei den Verbundmaschinen, welche stets mit nicht ganz kleinen

Füllungen und getheilter Temperaturdifferenz arbeiten, nicht zu gewärtigen.

Anders stünde es bei kleinen Füllungen und niederen Auströmtemperaturen in Eincylindermaschinen.

Abgesehen von dem Falle, welcher schon bei der sinkenden Einströmlinie (Seite 168) betrachtet ist, bei welchem das Hinzukommen des Druckabfalles durch die eigentliche Expansion (Fig. 53) den gefährlichen Druckunterschied verschärft, kann bei hochexpandirenden Maschinen der Einfluss der abkühlenden Cylinderwände sich über die eigentliche Füllungszeit hinaus noch erstrecken und zu Beginn der Expansion den Dampfdruck rascher fallen machen, als es der Mariotte entspricht.

Später steigt allerdings die Drucklinie durch Nachverdampfen wieder an, aber wäre etwa die Maschine auf ein theoretisches Minimum der Füllung bei maximaler Geschwindigkeit Gl. (9) und (10) (Seite 60—61) gebaut, so könnte die Abweichung der wirklichen von der vorausgesetzten Expansionslinie nun umso mehr gefährlich werden, als jetzt der Druckwechsel nicht mehr in der Nähe des todten Punktes, sondern bei jener erhöhten Geschwindigkeit platzgreift, welche der Kolben in der Nähe des halben Hubes annimmt.

Auch durch eine schleichend schliessende Steuerung wird die Expansionslinie tiefer gerückt, als es der sonstigen Voraussetzung entspricht.

d) Die Heizung der Cylinderwände hebt stets die Expansionslinie und kann daher für hohe Kolbengeschwindigkeit niemals nachtheilig sein.

Anders steht es allerdings bezüglich des ökonomischen Effectes, über den nur angedeutet werden soll, dass dann die Heizung vortheilhaft wirkt, wenn sie alles Wasser, welches vom Kessel mitgebracht wird oder sich während des Dampfeintrittes

an den Wänden des Cylinders und der schädlichen Räume condensirt, noch vor der Zeit der beginnenden Ausströmung wieder zu verdampfen vermag. Allerdings verringert sie bereits die Menge des Niederschlages, und ist daher von unzweifelhaftem Vortheile bei trocken einströmendem Dampf; kommt aber nasser Dampf aus den Kesseln, oder ist die Heizung überhaupt nicht im Stande, die Cylinderwände vor dem Austritte des Dampfes aus der Maschine trocken zu bringen, so wird sie nur unökonomisch wirken, denn sie gibt Verdampfwärme an die rückbleibende Wassermenge ab und erzeugt noch Dampf während der Ausströmung. Dabei kann viel Heizdampf verschwendet werden, weil feuchte Wände unter geringem Drucke rasch abdampfen, viel Wärme aufnehmen (und abstoßen) und trotzdem nicht heisser werden, als es der Temperatur der Ausströmungsspannung entspricht. Auch eine Dampfkesselwand wird nicht wesentlich heisser als das Kesselwasser. Vermag aber die Heizung die heissen Wasser in der Maschine rechtzeitig zu verdampfen, so wird der Wärmeverlust in der Ausströmzeit dabei verschwindend gering verbleiben, indem die trockenen Cylinderwände an den wie Luft schlecht wärmeleitenden, trockenen Dampf nur wenig Wärme abgeben.

Eine zu ausgiebige Heizung wäre dagegen, und zwar hauptsächlich durch die Strahlungsverluste nach Außen wieder schädlich. Erwartet man daher bereits trockenen Einströmdampf, so ist der von vielen Fabriken, insbesondere für Verbundmaschinen bereits praktisch gefundene Vorgang: jeden Cylinder mit seinem eigenen Füllungsdampf zu heizen, völlig gerechtfertigt. Die Heizung soll dabei hauptsächlich die Deckel und schädlichen Räume treffen, und insbesondere dann nicht fehlen, wenn kleine Füllung und hohe Compression verwendet wird.

Auf eine sicher wirkende Entwässerung aller Heizräume ist strenge Bedacht zu nehmen.

Ist aber nasser Dampf zu erwarten, wie solcher von angestrengten Kesseln mit kleiner Wasserspiegelfläche, niederem Druck oder langen Dampfrohrleitungen herrühren mag, so soll, wie dies bereits erörtert wurde, die Mantelheizung gänzlich entfallen. Sie würde zu ihren sonstigen nicht abzuleugnenden Nachtheilen, wie schwierigere und leicht Ausschuss gebende Gussstücke, theuere Herstellung und insbesondere der verringerten Betriebsicherheit durch die stete Gefahr des Vorkommens von Rissen oder Undichtheiten, nur noch einen erhöhten Gesamtaufwand von Dampf oder Kohle erbringen.

e) Andere Einflüsse auf die Höhe des Dampfdruckes in der Expansionsperiode. Undichtheiten der Kolben und Steuerungsorgane etc. sind bei hoher Kolbengeschwindigkeit von geringerem Belange, als bei langsamem Gange. Bei letzterem und in Maschinen mit großem Hub und Condensation kann aber die Abkühlung so weit gehen, dass dadurch der Druckerhebung wegen des schädlichen Raumes und des mitgebrachten und nachverdampfenden Niederschlagwassers völlig Einhalt gethan wird.

Beträchtliche Undichtheiten kommen in einer gut ausgeführten und gut gehaltenen Maschine nicht vor, und gewöhnlich spricht der helle Glanz der Cylinder, Kolbenringe und Schieberspiegel oder das gleichmäßige Aussehen der Ventilsitzflächen in beredter Weise für die Verlässlichkeit der Abschlüsse.

Beträchtliche Abweichungen der Indicatorlinie von der Mariotte lassen aber stets das Vorhandensein wesentlicher Undichtheiten oder Fehler in der Maschine mit vollster Sicherheit behaupten. Diese können, abgesehen von den oben erwähnten Theilen, auch in verborgenen Gussfehlern in den Dampfwegen, undichten Abschlüssen an den Dampfmänteln, geöffneten Kernlöchern an Kolben oder Cylinderdeckeln u. A. beruhen, was sich durch eine Dampfprobe oder eine innere Untersuchung bald feststellen lässt.
