

VI. Abschnitt.

Die Untersuchung der Dampfmaschine.

102. Der Indikator. In diesem Abschnitt sollen zunächst die gewöhnliche Art und Weise der Abnahme von Indikator diagrammen, sei es zum Zwecke der Bestimmung der indizierten Leistung der Maschine, oder zum Studium der Dampf-Verteilung und Wirkungsweise desselben im Cylinder, beschrieben, sowie jene Messungen erörtert werden, welche zur Ermittlung des thermischen Wirkungsgrades erforderlich sind. Einen weiteren Gegenstand dieses Abschnittes bildet die Bestimmung der effektiven oder Nutzarbeit einer Maschine, deren Verhältnis zur indizierten Arbeit den mechanischen Wirkungsgrad ergibt.

Das Indikator diagramm gibt, abgesehen von seinem Nutzen zur Ermittlung der Leistung, ein vollständiges Bild über die vier Vorgänge im Inneren des Cylinders der Maschine während eines Doppelhubes und zwar der Admission, Expansion, Ausströmung und Kompression, welche vereint mit dem Ausdrucke „Dampfverteilung“ bezeichnet werden; es gibt Aufschluß über eventuelle Fehler in der Funktion der Steuerorgane und ermöglicht auf diese Weise, die Mängel in der Dampfverteilung verbessern und beheben zu können. Wenn nebst dem Indikator diagramm auch die pro Kolbenhub verbrauchte Dampfmenge bekannt ist, dann hat man alle Mittel zur Hand, um die Wirkungsweise der Maschine analysieren, sowie den Feuchtigkeitsgehalt des Dampfes und die Wechselwirkung von Dampf und Cylinderwandung in jedem beliebigen Stadium des Kolbenhubes bestimmen zu können.

Erfinder des Indikators war James Watt. Für den Ausbau der Dampfmaschine war der Indikator für Watt jedenfalls von größter Wichtigkeit und die Dampfmaschine würde kaum in solcher Vollendung aus seinen Händen hervorgegangen sein, wenn ihm dies Instrument gefehlt hätte. Watt hat daher auch diese Erfindung in großes Geheimnis gehüllt und sich dadurch jene Überlegenheit über seine Zeitgenossen gesichert, welche ja genugsam bekannt ist; erst nach seinem Tode, also vor

ca. 80 Jahren, gelangte dieses Instrument in andere Hände. Watt hatte dasselbe bereits so sehr vervollkommnet, daß längere Zeit nach seinem Tode wenig an der allgemeinen Anordnung geändert wurde; nur die hin- und hergehende Bewegung der ebenen Schreibtafel wurde von Mac Naught in die Oszillationsbewegung eines Schreibcylinders verwandelt. Weitere Verbesserungen, namentlich hinsichtlich der Bewegungsübertragung auf den Schreibstift in Berücksichtigung der stetig zunehmenden Kolbengeschwindigkeit und Umlaufzahl der Dampfmaschinen wurden von Richards, Thompson, Rosenkranz, Elliott, Wayne, Crosby u. a. gemacht.

Der Indikator besteht dem Wesen nach aus einem kleinen Dampfzylinder, in welchem sich ein Kolben möglichst leicht bewegt; durch eine Spiralstahldrahtfeder wird derselbe stets nach abwärts gedrückt. Der Indikatorzylinder wird durch ein unterhalb des Kolbens einmündendes Rohr mit dem einen oder anderen Ende des Maschinenzylinders verbunden, so daß der Dampf des Dampfzylinders freien Zutritt zu demselben hat und der Kolben des Indikators, den Druckschwankungen innerhalb des Maschinenzylinders folgend, sich auf- und abwärts bewegt; jeder Stellung desselben entspricht somit eine ganz bestimmte Spannung im Dampfzylinder. Diese Bewegung des Kolbens wird direkt oder indirekt auf einen Schreibstift übertragen, welcher sich somit auf- und abwärts bewegt, auf einem Blatt Papier, welches korrespondierend den Bewegungen des Kolbens der Maschine hin- und herbewegt wird, einen Linienzug, das Diagramm zeichnend. Bei dem Indikator von Watt und Mac Naught war der Schreibstift mit dem Indikator Kolben direkt verbunden, während Richards in seinem verbesserten Indikator die Bewegung des Kolbens durch einen Lenkermechanismus derart auf den Stift übertrug, daß dieselbe vergrößert auf dem Schreibblatte zum Ausdrucke kam. Diese Anordnung hat den Vorteil, daß ein Diagramm bestimmter Größe durch einen viel kleineren Hub des Indikator Kolbens als im anderen Falle gezeichnet werden kann, daher auch Fehler infolge der Trägheit des Kolbens entsprechend vermindert werden; speziell bei schnellgehenden Maschinen ist es von großer Wichtigkeit, die Trägheit des Kolbens und der mit demselben bewegten Teile des Schreibmechanismus möglichst zu vermindern, um nicht verzerrte, daher falsche Diagramme zu erhalten.

Richards wendete bei seinem Indikator zur Vergrößerung des Kolbenweges den bereits von Watt zur Geradföhrung der Kolbenstange bei Balanciermaschinen angewendeten, als Watt'sches Parallelogramm bekannten Lenkermechanismus an. Das Bestreben, den Indikator den Anforderungen des immer mehr um sich greifenden Schnellbetriebes, sowie der stetig zunehmenden Betriebsdampfspannung anzupassen, föhrte zu

einer Reihe neuerer Konstruktionen, welche sich die Verringerung der bewegten Massen, sowie die Vereinfachung der Bauart und Bedienung des Indikators zur Aufgabe stellen.

Eine der besten dieser Modifikationen des Richardschen Indikators ist der sogenannte Crosbyindikator Fig. 49 und 50.

Die Dampfspannung im Cylinder hebt den Kolben *F* (Fig. 50) unter gleichzeitiger Kompression der darüber befindlichen Feder und zwingt den Zeichenstift, durch Vermittlung des Lenkers sich in einer nahezu vollkommen geraden Linie um eine Strecke zu bewegen, welche proportional vergrößert, der Kompression der Feder und daher der Dampfspannung im Cylinder der Maschine entspricht. Gleichzeitig erhält die Papiertrommel *D*, auf welcher das Papier zur Verzeichnung des Diagrammes entsprechend aufgespannt ist, von dem Kreuzkopfe oder irgend einem anderen hin- und hergehenden Teil der Maschine durch die Schnur *C* die erforderliche Oszillationsbewegung; durch die Spiralfeder *E* innerhalb der

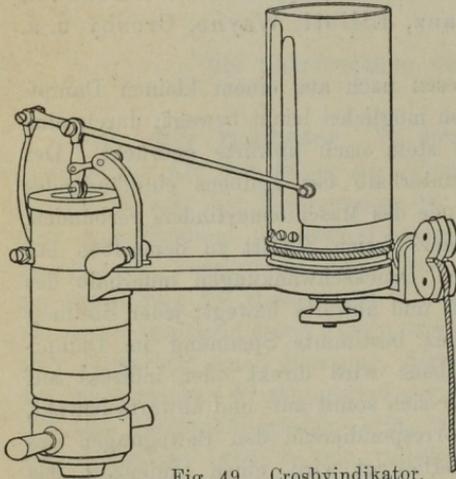


Fig. 49. Crosbyindikator.

Trommel, welche beim Anziehen der Schnur aufgewunden, somit gespannt wird, erfolgt die selbsttätige Rückdrehung der Trommel bei der rückläufigen Bewegung des Kolbens der Maschine. Der Raum über dem Indikator Kolben kommuniziert durch Öffnungen im Deckel *A* mit der Atmosphäre. Ein Hahn, welcher durch Vermittlung des in Fig. 50 ersichtlichen konischen Ansatzes und der Überwurfmutter mit dem Indikator dampfdicht verbunden wird, setzt den Raum unterhalb des Kolbens mit dem Cylinder der Maschine einerseits, sowie durch eine entsprechende Bohrung mit der Atmosphäre andererseits nach Belieben in oder außer Verbindung; bei der Verbindung dieses Raumes mit der Außenluft zeichnet der Stift die sogenannte atmosphärische Linie. Aus dieser Stellung bewegt sich der Indikator Kolben, die Feder ausdehnend, nach abwärts, sobald die Dampfspannung unter den Atmosphärendruck sinkt.

Jedem Indikator sind, den Abstufungen der Admissionsspannung entsprechend, mehrere Federn beigegeben und ist die Einrichtung so getroffen, daß die Feder leicht und rasch ausgewechselt werden kann. Die Federn sind den Spannungen, bis zu welchen sie verwendet werden

können, entsprechend numeriert und außerdem ist jeder Feder ein Maßstab für die Ordinaten (Drücke) des Diagrammes beigegeben. Die Richtigkeit dieser Maßstäbe soll vor Gebrauch des Indikators von Zeit zu Zeit kontrolliert werden, indem man den Indikator unter Dampf von verschiedener aber genau bestimmter Spannung ausprobiert; hierbei soll die Spannung nur schrittweise und zwar sowohl im zunehmenden als auch im abnehmenden Sinne geändert werden, um eventuelle Fehler infolge der Kolbenreibung konstatieren zu können, indem in solchen Fällen der Zeichenstift bei gleicher Dampfspannung bei der Abwärtsbewegung höher stehen würde, als bei der Aufwärtsbewegung desselben. Er-

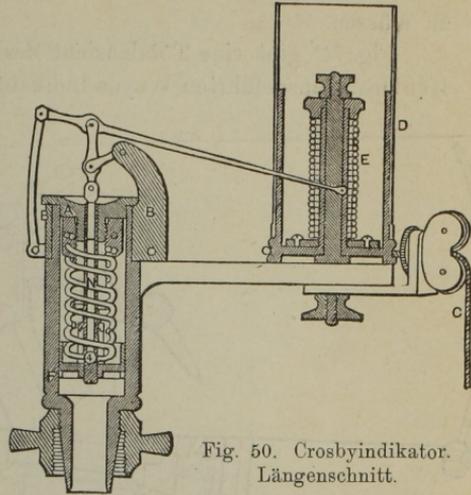


Fig. 50. Crosbyindikator.
Längenschnitt.

probung unter Wasserdruck ist nicht empfehlenswert, so lange nicht die Veränderungen der Elastizität der Federn unter wechselnder Temperatur genügend genau bekannt sind; die Federn sind gewöhnlich um 2—3% im kalten Zustande steifer als bei der Benützung unter Dampf, wobei sie eine Durchschnittstemperatur von ungefähr 100° C annehmen.

Um den Zeichenstift nach Belieben von dem Papier zurückziehen zu können, ist das Stück *BB* (Fig. 50), welches die Geradführung trägt, von dem Indikatorcylinder getrennt und um diesen drehbar ausgeführt; ein kleiner knopfartiger Handgriff (in Fig. 49 ersichtlich) dient diesem Zwecke; die Rückdrehung wird durch einen Anschlag begrenzt, damit der Stift nicht zu stark gegen das Papier gedrückt werden kann, was mangelhafte Diagramme infolge Festsetzen des Stiftes oder Zerreißen des Papierses zur Folge hätte.

Fig. 51 zeigt eine andere Anordnung der Bewegungsübertragung auf den Zeichenstift, sowie der Feder, wie sie bei Indikatoren der Firma Elliott Brothers ausgeführt wird. Die Feder

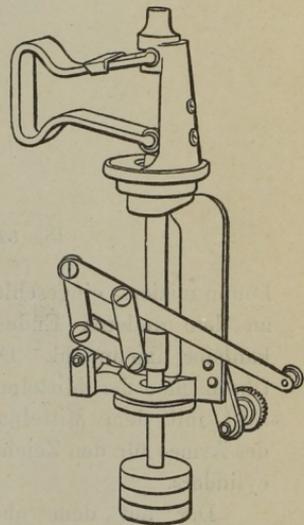


Fig. 51.

liegt hier außerhalb des Indikatorecyinders und ist zugleich so angeordnet, daß sie sehr leicht und bequem ausgewechselt werden kann, ohne mit dem durch Dampf erhitzten Teil des Indikators in Berührung kommen zu müssen.

Fig. 52 gibt eine Totalansicht des gleichfalls von der Firma Elliott Brothers ausgeführten Wayne-Indikators, welcher sich in der allgemeinen

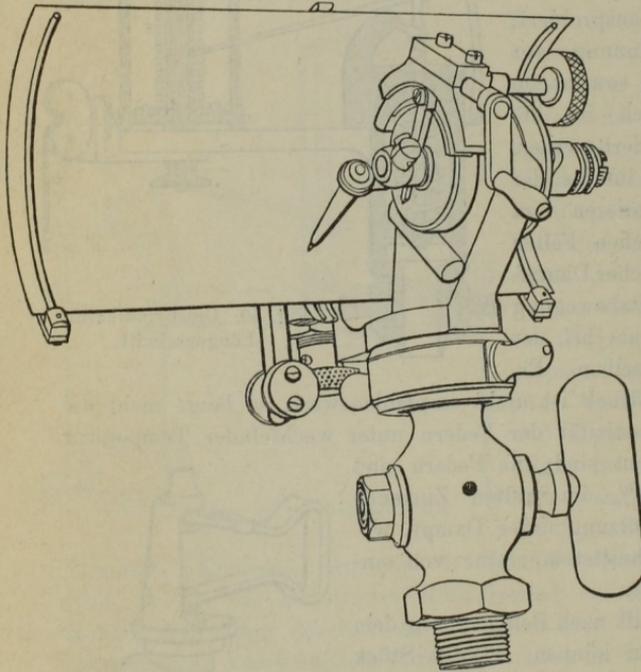


Fig. 52. Wayne-Indikator.

Anordnung wesentlich von allen übrigen Indikatoren unterscheidet. Das Papier ist über eine Wiege aus Aluminium gespannt, welche eine vor- und rückwärtsgehende Bewegung besitzt; der Zeichenstift wird von einem radialen Arm getragen, welcher senkrecht zur geradlinigen Bewegung der Wiege hin- und herschwingt und seine Bewegung von der Achse eines oszillierenden Scheibenkolbens erhält; dieser Kolben ist in einer cylindrischen Kammer, welche mit dem Dampfeylinder

kommuniziert, eingeschlossen; die Feder zur Rückbewegung desselben ist an dem anderen Ende der oszillierenden Achse außerhalb der Dampfkammer angebracht. Das Zeichenpapier hat somit eine hohlcylindrische Oberfläche; der Mittelpunkt dieses Cylinders, beziehungsweise der Wiege, fällt mit dem Mittelpunkt der Oszillationsachse zusammen; die Länge des Armes für den Zeichenstift bildet daher den Halbmesser dieses Schreibcylinders.

Der auf dem oberen Teile der Dampfkammer ersichtliche Mechanismus hat den Zweck, die Bewegung des Zeichenstiftes auf ein beliebig kleines Maß einzuschränken, wenn irgend eine spezielle Partie des Diagramms eingehender untersucht werden soll; für den gewöhn-

lichen Gebrauch des Indikators kann dieser zusätzliche Mechanismus abgenommen werden.

Die Bewegung der Wiege gibt somit die Abscissen (Kolbenhubvolumen), die dazu senkrechte Bewegung des Zeichenstiftes die Ordinaten (Spannungen) des Indikatorgrammes. Dieser Indikator ist in jenen Fällen vorteilhaft zu verwenden, in welchen die Trägheit der gewöhnlichen Lenkermechanismen für die Bewegung des Zeichenstiftes Störungen der Bewegung desselben verursacht.

103. Bedingungen für das genaue Arbeiten eines Indikators.

Jeder Indikator muß, wenn er seinen Zweck, korrekte Diagramme zu liefern, erfüllen soll, zwei Bedingungen genügen: 1) muß die Bewegung des Zeichenstiftes beziehungsweise des Indikatorkolbens der Änderung der Dampfspannung im Arbeitscylinder proportional sein und 2) muß die Bewegung der Zeichentrommel proportional der Bewegung des Dampfkolbens sein.

Um der ersten Bedingung zu genügen, muß einerseits das den Indikator mit dem Dampfcylinder verbindende Rohr möglichst kurz und genügend weit, andererseits die Einmündung desselben in den Cylinder so situiert sein, daß die Spannung an dieser Stelle nicht durch die kinetische Energie des in den Cylinder einströmenden Dampfes beeinflußt wird. Häufig werden von beiden Cylinderseiten Diagramme in der Weise abgenommen, daß man den Indikator in der Mitte des Cylinders anbringt und durch Röhren mit den Enden desselben verbindet; diese Anordnung, welche für kleinere Cylinder recht zweckmäßig ist und genügend genaue Diagramme gibt, ist jedoch für größere und große Maschinen nicht empfehlenswert, weil die Verbindungsrohre ihrer bedeutenden Länge wegen zu Fehlern Veranlassung geben können. Zur Indizierung großer Maschinen bedient man sich daher mit Vorteil zweier Indikatoren, deren jeder möglichst direkt mit dem betreffenden Ende des Cylinders zu verbinden ist. Hat man nur einen Indikator zur Verfügung, dann müssen die Diagramme zuerst von der einen und dann durch Übersetzen des Instrumentes von der anderen Cylinderseite genommen werden; die erstere Methode ist jedoch der letzteren insofern vorzuziehen, als man zu beiden Cylinderseiten gleichzeitig abgenommene Diagramme erhält, was namentlich für den Vergleich der Dampfverteilungsverhältnisse vor und hinter dem Kolben von Vorteil ist. Eine in diesem Sinne mangelhafte Verbindung des Indikators mit dem Cylinder hat zur Folge, daß die Spannung im Indikator hinter jener im Cylinder zurückbleibt, die Diagramme daher zu schmal werden.

Die erste Bedingung korrekter Funktion eines Indikators wird ferner