

# **Badische Landesbibliothek Karlsruhe**

**Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe**

## **Der Maschinenbau**

**Redtenbacher, Ferdinand**

**Mannheim, 1863**

Effektberechnung der Maschinen

[urn:nbn:de:bsz:31-270981](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-270981)

alle mit Doppelmaschinen versehen, aber auch zum Betrieb von solchen Fabriken, welche eine grosse Gleichförmigkeit der Bewegung erfordern, werden sie oftmals gebraucht. Dass sie unvermeidlich sehr komplizirt sind, ist selbstverständlich.

### Theorie der Dampfmaschinen.

**Effektberechnung der Maschinen.** Wir haben bereits in den Prinzipien der Mechanik (Seite 212, 2te Auflage) nachgewiesen, dass in allen Maschinen ein Beharrungszustand ihrer Bewegung und Thätigkeit eintritt, und haben auch durch elementare Betrachtungen gezeigt, wie die Bewegung und Wirkungsweise bei einer einfachen Dampfmaschine im Beharrungszustand erfolgt. In den folgenden Theorien werden wir den Gegenstand durch analytische Mittel verfolgen und dadurch zu allgemeinen Regeln gelangen. Wie die Bewegung einer Dampfmaschine während des Anlaufes erfolgt, kann selbst mit einem grossen Aufwand von analytischen Apparaten nur sehr schwierig verfolgt werden, und die Kenntniss dieser Vorgänge ist wenigstens in praktischer Hinsicht von geringer Bedeutung, indem die regelmässige nützliche Thätigkeit einer Dampfmaschine doch nur im Beharrungszustand vorhanden ist. Wir übergehen daher den Anlauf, nehmen an, es sei der Beharrungszustand vorhanden und stellen uns die Aufgabe, die Gesetze dieses Zustandes ausfindig zu machen. Dabei legen wir die Betrachtung einer Maschine mit einem Cylinder zu Grunde und unterscheiden die vier Fälle: 1) wenn der Dampf ohne Expansion und ohne Condensation wirkt; 2) ohne Expansion mit Condensation; 3) mit Expansion ohne Condensation; 4) mit Expansion mit Condensation.

Im Beharrungszustand sind am Anfange jedes Kolbenschubes identische Zustände vorhanden, sind also die Geschwindigkeiten, die lebendigen Kräfte, die Dampfspannungen, der Wassergehalt des Kessels gleich gross. Diese Identität der Zustände am Anfang und Ende jedes Kolbenschubes ist nur unter folgenden Umständen möglich:

- 1) muss die Wirkung, welche der Dampf während eines Kolbenschubes entwickelt, gleich sein der Wirkung, welche während eines Kolbenschubes durch die Totalität der Widerstände consumirt wird;
- 2) muss in den Kessel während jeden Kolbenschubes so viel Wasser gebracht werden, als während dieser Zeit verdampft wird;

- 3) muss die Dampfmenge, welche bei einem Kolbenshub aus dem Kessel in die Maschine übertritt, eben so gross sein als die Dampfmenge, die während eines Kolbenshubes produziert wird.

Werden diese Gleichheiten mit mathematischer Schärfe analytisch ausgedrückt, so erhält man drei Gleichungen, die den Beharrungszustand charakterisiren und aus welchen alle diesen Zustand betreffenden Fragen beantwortet werden können.

Nennen wir:

- o den Querschnitt des Dampfeylinders,  
 l die Länge des Kolbenshubes,  
 v die mittlere Geschwindigkeit des Kolbens, die gefunden wird, wenn man die Länge des Kolbenshubes durch die Zeit eines Kolbenshubes dividirt,  
 l<sub>1</sub> die Länge des Weges, den der Kolben zurücklegt bis die Absperrung eintritt, d. h. bis die Kommunikation zwischen Cylinder und Kessel aufhört. Bei nicht expandirenden Maschinen ist l<sub>1</sub> nicht viel kleiner als l, bei expandirenden Maschinen richtet sich l<sub>1</sub> nach dem Expansionsgrad,  
 m den Coefficienten für den schädlichen Raum, d. h. m ist die Zahl, mit welcher das Volumen o l multipliziert werden muss, um zu erhalten die Summe der Volumen 1) eines Dampfkanales, 2) des Raumes zwischen dem Cylinderdeckel und dem Kolben, wenn dieser am Ende des Schubes steht; es ist also m O l dieser schädliche Raum,  
 y den Druck des Dampfes auf einen Quadratmeter der Kolbenfläche, nachdem der Kolben vom Anfang des Schubes an einen Weg x zurückgelegt hat. Bei nicht expandirenden Maschinen ist y von x = 0 bis x = 1 beinahe constant; bei expandirenden Maschinen jedoch nur von x = 0 bis x = 1. Um den Beharrungszustand ganz allgemein zu charakterisiren, wollen wir aber y als eine Funktion von x ansehen,  
 ρ den Druck, welcher, nachdem der Kolben einen Weg x zurückgelegt hat, auf jeden Quadratmeter der Kolbenfläche wirken müsste, um zu überwinden: 1) theils den in dieser Kolbenstellung vor dem Kolben wirklich herrschenden Gegendruck, 2) die sämtlichen Reibungen und sonstigen Nebenhindernisse, welche der Bewegung entgegen wirken. Der wahre Werth von ρ ist im Allgemeinen eine komplizirte Funktion der Konstruktionselemente der Maschine und der Wirkungsweise des Dampfes. Die Grösse ρ, die wir den schädlichen Widerstand nennen wollen, ist also in dem Sinne zu verstehen, dass O (y - ρ) die

nützliche Kraft ausdrückt, mit welcher der Kolben in dem Augenblick fortgetrieben wird, nachdem er vom Anfang des Kolbenschubes an einen Weg  $x$  zurückgelegt hat,

$p$ , den Druck des Dampfes im Cylinder hinter dem Kolben, nachdem derselbe einen Weg  $l$ , zurückgelegt hat, also im Momente der Absperrung,

$y_m$   $\rho_m$  die mittleren Werthe von  $y$  und  $\rho$ , d. h. diejenigen constanten Werthe, welche während eines Kolbenschubes eben so grosse Wirkungen produziren würden, wie die veränderlichen Werthe. Nach den in den Prinzipien der Mechanik, Seite 62, festgestellten Begriffen ist demnach:

$$y_m l = \int_0^l y \, dx, \quad \rho_m l = \int_0^l \rho \, dx \quad . . . . . (1)$$

$s$  die Dampfmenge in Kilogrammen, welche in jeder Sekunde im Kessel gebildet wird,

$s$  die Dampfmenge in Kilogrammen, welche in jeder Sekunde durch unvollkommene Verschlüsse und Dichtungen verloren geht,

$R$  den auf den Kurbelkreis reduzierten nützlichen Widerstand, welchen die zu betreibenden Arbeitsmaschinen verursachen, d. h.  $R$  ist gleich der Kraft, mit welcher in jedem Augenblick auf den Kurbelzapfen nach einer auf dem Kurbelhalbmesser senkrechten Richtung eingewirkt werden muss, um die Widerstände der Arbeitsmaschinen zu überwinden. Wir betrachten  $R$  als eine constante Grösse,

$q$  die Wassermenge in Kilogrammen, welche in jeder Sekunde in den Kessel gefördert werden muss,

$E$  in Kilogrammmetern,  $N$  in Pferdekräften den Nutzeffekt der Maschine.

Diese Bezeichnungen vorausgesetzt, können wir nun die Bedingungsgleichungen des Beharrungszustandes aufstellen. Es ist

$\int_0^l y \, dx$  die Wirkung des Dampfes während eines Kolbenschubes,

$\int_0^l \rho \, dx$  die Gegenwirkung des schädlichen Widerstandes,  $\frac{1}{2} R l \pi$

die Wirkung, welche dem nützlichen Widerstand während eines Kolbenschubes entspricht. Wegen der ersten, Seite 519 ausgesprochenen Bedingung hat man demnach:

$$\int_0^l y \, dx = \int_0^l \rho \, dx + \frac{1}{2} R l \pi \quad . . . . . (2)$$

oder wegen (1):

$$O_1 y_m - O_1 \varrho_m = \frac{1}{2} R \pi l$$

demnach:

$$y_m = \frac{1}{2} \frac{R \pi}{O} + \varrho_m \dots \dots \dots (3)$$

Es ist ferner  $v \frac{\frac{1}{2} l \pi}{1} = \frac{1}{2} \pi v$  die Geschwindigkeit des Kurbelzapfens (die mittlere), demnach  $R \frac{1}{2} \pi v$  der in Kilogramm-  
metern ausgedrückte nützliche Effekt der Maschine, demnach:

$$\frac{1}{2} \pi R v = E = 75 N \dots \dots \dots (4)$$

oder auch wegen (3):

$$O v (y_m - \varrho_m) = E = 75 N \dots \dots \dots (5)$$

Bei jedem Kolbenschub wird nicht nur das Volumen  $O_1$ , sondern auch das Volumen  $m O_1$  des schädlichen Raumes mit Dampf erfüllt. Bei jedem Kolbenschub wird daher ein Dampfvolumen  $O_1 + m O_1 = O_1 (1 + m)$  verbraucht. Allein im Moment der Ab-sperrung ist die Spannung des Dampfes gleich  $p_1$ , wiegt also ein Kubikmeter  $(\alpha + \beta p_1)$  Kilogramm, also ist der Dampfverbrauch bei jedem Schub  $O_1 (1 + m) (\alpha + \beta p_1)$  Kilogramm. Die Zeit eines Schubes ist aber  $\frac{1}{v}$ , daher ist der mittlere Dampfverbrauch in jeder Sekunde:

$$\frac{O_1 (1 + m) (\alpha + \beta p_1)}{\frac{1}{v}} = O v \left( \frac{l_1}{1} + m \right) (\alpha + \beta p_1)$$

Wir erhalten daher wegen des dritten der Seite 520 ausgesprochenen Sätze

$$s = O v \left( \frac{l_1}{1} + m \right) (\alpha + \beta p_1) + s \dots \dots \dots (6)$$

Die Bedingung der richtigen Wasserlieferung in den Kessel ist:

$$s = q \dots \dots \dots (7)$$

Bei diesen Rechnungen sind die Wärmeverluste nicht in Anschlag gebracht, die durch Abkühlung der Wände des Cylinders und der Zuleitungsröhren entstehen können. Indessen wenn man will, kann man diese Verluste in  $s$  inbegriffen denken.

Diese Gleichungen sind total unabhängig von den physikalischen Eigenschaften des Dampfes und von jeder Hypothese. Sie sind nur

der allgemeine Formalismus, nach welchem die Dampfmaschinen zu berechnen sind, sei es, dass man sich zu einer oder der andern oder zu gar keiner Wärmetheorie bekennt. Diese Gleichungen (3), (5), (6) würden absolut richtige Resultate liefern, wenn man im Stande wäre, die darin erscheinenden Grössen  $y_m$ ,  $\rho_m$ ,  $p$ , und  $s$  mit mathematischer Schärfe zu bestimmen. Dies ist aber aus zwei Gründen nicht möglich, erstens, weil die physikalischen Gesetze des Dampfes nicht genau bekannt sind, zweitens, weil es eine zu schwierige mathematische Aufgabe ist, die Bewegungen und Zustandsänderungen des Dampfes bei seinem Uebergang aus dem Kessel in den Cylinder und sein Entweichen aus denselben zu verfolgen. Wir müssen uns also bei der Benutzung der aufgestellten Gleichungen mit Annäherungen begnügen.

**Nicht expandirende Maschinen.** Bei nicht expandirenden Maschinen ist  $l$ , sehr nahe gleich 1. Was da in der Maschine vorgeht, während der Kolben den Rest  $1 - l$ , seines Schubes zurücklegt, werden wir in der Folge bei der Theorie der Steuerungen kennen lernen. Hier wollen wir uns erlauben  $l = 1$  zu setzen, wodurch allerdings ein kleiner Fehler begangen wird. Die Spannung  $y$  des Dampfes hinter dem Kolben richtet sich theils nach der Spannung des Dampfes im Kessel, theils nach den Widerständen, welche dem Uebergang des Dampfes aus dem Kessel nach dem Cylinder entgegen treten, theils nach den Querschnitten der Dampfkanäle, endlich nach der Geschwindigkeit des Kolbens. Sind diese Widerstände klein, sind ferner die Dampfkanäle weit, und ist die Kolbengeschwindigkeit eine gemässigte, so muss man auch ohne alle Rechnung erkennen, dass bei einer nicht expandirenden Dampfmaschine die Spannung des Dampfes hinter dem Kolben während der ganzen Dauer des Schubes nur äusserst wenig veränderlich sein kann, ist es also unter solchen Umständen erlaubt,  $y$  als eine Constante anzusehen. Nennen wir diesen constanten Werth von  $y$ ,  $p$ , so dürfen wir setzen  $y = y_m = p_1 = p$ . Dadurch begehen wir einen Fehler, der zur Folge hat, dass wir die Wirkung der Maschine zu günstig berechnen, denn die wirkliche Dampfspannung muss, wenn der Kolben am schnellsten geht, also in der Mitte seines Schubes sich befindet, kleiner ausfallen als am Anfange und am Ende des Schubes. Trägt man den vom Kolben zurückgelegten Weg  $x$  als Abscisse, die Pressung des Dampfes gegen den Kolben als Ordinate auf, Taf. XXVI., Fig. 9, so ist  $A B E C D$  der Vorgang, wenn der Druck während des ganzen Schubes  $A D$  constant bleibt, dagegen  $A B F C D$  der wirkliche Vorgang und namentlich bei rascher Bewegung des Kolbens. In beiden