

Badische Landesbibliothek Karlsruhe

Digitale Sammlung der Badischen Landesbibliothek Karlsruhe

Der Maschinenbau

Redtenbacher, Ferdinand

Mannheim, 1863

Beschreibung der Dampfmaschinen

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

Röhre äusserst kurz, oder wenn die Ausströmungsöffnung unmittelbar in der Gefässwand angebracht ist.

Die nachfolgende Tabelle gibt für verschiedene Werthe des Quotienten $\frac{\alpha + \beta P}{\alpha + \beta p}$ die entsprechenden Werthe von U .

$\frac{\alpha + \beta P}{\alpha + \beta p}$	U Meter	$\frac{\alpha + \beta P}{\alpha + \beta p}$	U Meter
1·1	187	2	507
1·2	260	3	616
1·3	312	4	717
1·4	353	5	772
1·5	387	6	815
1·6	417	7	847
1·7	443	8	878
1·8	467	9	903
1·9	488	10	924

Das Verhalten von überhitztem Dampf. Füllt man ein Gefäss mit Kesseldampf und erhitzt denselben hierauf, indem man Wärme durch die Wände eindringen lässt, so entsteht sogenannter überhitzter Dampf. Dieser verhält sich (so lange ihm nicht mehr Wärme entzogen wird, als er während der Ueberhitzung aufgenommen hat) wie jedes Gas. Es gelten also für diese überhitzten Dämpfe alle Lehren, die Seite 262 für Gase aufgestellt wurden.

Beschreibung der Dampfmaschinen.

Einleitung. Das Studium der Dampfmaschinen wird gewöhnlich mit einer geschichtlichen Darstellung der Erfindung dieser Maschine eingeleitet. Für ein Lehrbuch ist jedoch dieser Weg nicht angemessen, er ist zu breit und zu lang, erfordert zu viele Worte und ist zu ungerichtet, um zu einer wahren Einsicht in das Wesen der Sache zu führen. Wir wollen hier gleichsam von einer idealen Erfindungsgeschichte ausgehen, die möglicher Weise hätte eintreten können und durch die wir ganz naturgemäss zu den verschiedenen wesentlicheren Arten von Dampfmaschinen geführt

werden. Wir gehen nämlich von der einfachsten Anordnung aus, beschreiben dieselbe, unterwerfen sie einer Kritik, erkennen dadurch ihre Mängel, suchen dieselben zu beseitigen und gelangen so Schritt für Schritt zu den verschiedenen besseren Einrichtungen.

Die Hochdruckmaschine ohne Expansion, ohne Condensation. Wir beginnen mit derjenigen Maschine, bei welcher der Dampf ohne Expansion wirkt und nicht condensirt wird. Wenn wir eine Einrichtung herstellen, durch welche ein Kolben durch den Druck von hochgespanntem Dampf hin- und hergeschoben, und durch welchen dann diese Kolbenbewegung in eine rotirende Bewegung einer mit einem Schwungrad versehenen Axe verwandelt wird, so erhalten wir offenbar eine höchst einfache Anordnung einer Dampfmaschine.

Offenbar ist es für die Wirkung des Dampfes im Wesentlichen ganz gleichgiltig, welche Lage und Stellung wir für den Cylinder annehmen und welchen Mechanismus wir zur Umwandlung der hin und her gehenden Bewegung des Kolbens in eine rotirende Bewegung der Schwungradsaxe annehmen. Wir wollen den Cylinder horizontal legen und zur Bewegungsverwandlung einen Schubstangen-Kurbelmechanismus wählen. Eine solche Maschine besteht dann aus folgenden Hauptbestandtheilen: 1) einem an beiden Enden durch Deckel geschlossenen Cylinder *a*, Tafel XXVI., Fig. 6; 2) einem an den Cylinder genau anschliessenden, mit einer Kolbenstange *b* versehenen Kolben *c*; 3) dem aus einer Kolbenstangenführung *d*, einer Schubstange *e*, Kurbel *f*, Schwungradwelle *g* und Schwungrad *h* bestehenden Mechanismus zur Umwandlung der Kolbenbewegung in eine rotirende Bewegung; 4) einer sogenannten Steuerung, durch welche bewirkt wird, dass die beiden Cylinderenden abwechselnd mit dem Dampfkessel und mit der freien atmosphärischen Luft in der Art in Kommunikation gesetzt werden, dass wenn der Kolben von links nach rechts getrieben werden soll, das linkseitige Ende des Cylinders mit dem Dampfkessel, das rechtseitige mit der Atmosphäre, und wenn der Kolben hierauf von rechts nach links gehen soll, das rechtseitige Ende des Cylinders mit dem Kessel, das linkseitige Ende dagegen mit der Atmosphäre kommunizirt. Dass dies durch mannigfaltige Einrichtungen, durch Hahnen, Schieber oder Ventile bewirkt werden kann, ist selbstverständlich. Man kann also Hahnen-, Schieber-, Ventilsteuerungen anwenden und es ist klar, dass die Funktionen dieser Organe am leichtesten durch geeignete Mechanismen von der Schwungradwelle aus bewirkt werden können; 5) einer Speisepumpe, durch welche dem Kessel das Wasser ersetzt wird, das bei der Bewegung des Kolbens, bei jedem Schub, in Dampfform aus

dem Kessel nach dem Cylinder übergeht; 6) einem Maschinenge-
stell, durch welches alle Bestandtheile in die für ihre Thätigkeit
geeignete Verbindung gesetzt werden.

Streng genommen gehört der angedeutete Mechanismus zur
Umwandlung der Kolbenbewegung in eine rotirende gar nicht zum
Wesen der Dampfmaschinen, sondern gehört der Transmission an.
Es gibt ja viele Maschinen, bei welchen dieser Mechanismus gar
nicht vorkommt. Es ist leicht einzusehen, dass bei einer solchen
Maschine eine möglichst vortheilhafte Wirkung des Dampfes er-
zielt werden kann, wenn die Spannung des Dampfes im Cylinder
sehr hoch ist. Beträgt z. B. diese Spannung zwei Atmosphären, so
geht (abgesehen von den Reibungswiderständen der Maschine) die
Hälfte des Dampfdruckes durch den vor dem Kolben herrschenden
atmosphärischen Druck verloren. Der Dampfdruck wird also nur
zur Hälfte nützlich verwendet. Beträgt der Dampfdruck 3, 4, 5,
6 Atmosphären, so ist im ersteren Falle ein Drittel, im
zweiten ein Viertel etc. des Dampfdruckes zur Ueberwindung des
atmosphärischen Vorderdruckes nothwendig, würden demnach im
ersten Falle $\frac{2}{3}$, im zweiten $\frac{3}{4}$, im dritten $\frac{4}{5}$ des Dampf-
druckes nützlich verwendet. Die wesentlichste Bedingung einer
günstigen Verwendung des Dampfes besteht also bei unserer Ma-
schine in einer möglichst hohen Spannkraft des Dampfes, und um
diese herbeizuführen, ist nebst einer geeigneten Einrichtung und
Heizung des Dampfkessels nichts nothwendig, als den Cylinder-
querschnitt so gross zu machen, dass der Widerstand, welchen die
zu betreibenden Arbeitsmaschinen verursachen, erst dann über-
wunden werden kann, wenn der Dampfdruck einen für seine gün-
stige Wirkung nothwendigen hohen Druck erreicht hat. Beträgt
z. B. der von den Arbeitsmaschinen herrührende Widerstand
 1000^{kg} , d. h. muss der Kolben mit einer Kraft von 1000^{kg} ge-
trieben werden, damit jene Widerstände überwunden werden und
soll eine Spannkraft von 5 Atmosphären eintreten, so würde der
Querschnitt des Cylinders auf folgende Art bestimmt. Nennt man
denselben o in Quadratcentimetern, so ist (den atmosphärischen Druck
auf 1^{cm} annähernd zu 1^{kg} gerechnet) $o(5-1) = 40$ Kilogramm
die Kraft, mit welcher der Kolben getrieben wird, demnach muss
sein: $40 = 1000$ und $o = \frac{1000}{4} = 250$ Quadratcentimeter, der Durch-
messer des Cylinders muss also nahe 18^{cm} sein.

Allein wenn man auch veranlasst, dass eine hohe Dampfspan-
nung eintritt, so kann bei einer solchen Hochdruckmaschine den-

noch eine ganz vortheilhafte Verwendung des Dampfes nicht eintreten, denn der Dampf, wenn er aus der Maschine entweicht, ist noch gerade so gut als er beim Eintritt war, und der atmosphärische Vorderdruck ist jedenfalls nachtheilig. Ueberdies ist es in praktischer Hinsicht fatal, wenn die Spannkraft so hoch sein muss, indem es Schwierigkeiten macht, dem Kessel hinreichende Festigkeit zu geben und die Dampfverluste an den verschiedenen Dichtungsstellen, insbesondere zwischen Kolben und Cylinder zu verhindern. Diese Erkenntniss der Mängel dieser Hochdruckmaschine führt uns zu Verbesserungen derselben. Offenbar können diese auf zweierlei Weise herbeigeführt werden, entweder indem wir den schädlichen atmosphärischen Vorderdruck schwächen oder ganz aufheben, oder wenn wir veranlassen, dass der Dampf, wenn er aus dem Cylinder entlassen wird, nur noch eine schwache Spannkraft besitzt, so dass er eine erhebliche Wirkung ferner nicht mehr hervorbringen kann.

Fragen wir nach den Mitteln, durch welche diese Verbesserungen herbeigeführt werden können, so sind diese nicht direkt in mechanistischen Einrichtungen, sondern in den physikalischen Eigenschaften des Dampfes zu suchen und wir finden sie in der Verdichtungsfähigkeit und Ausdehnungsfähigkeit des Dampfes, wir werden somit zur Condensation und zur Expansion des Dampfes geführt, also zur Condensations- und zur Expansionsmaschine.

Die Maschine mit Expansion ohne Condensation. Das einfachste Mittel, wodurch eine expandirende Wirkung des Dampfes erzielt werden kann, besteht darin, dass man die Steuerung der Hochdruckmaschine in der Weise ändert, dass die Kommunikation zwischen dem Dampfkessel und dem Raum hinter dem Kolben aufgehoben wird, nachdem der Kolben einen gewissen Theil seines Schubes zurückgelegt hat und aufgehoben bleibt, bis der Schub zu Ende ist. Geschieht z. B. diese Aufhebung der Kommunikation (die Absperrung), wenn der Kolben in *b b*, Tafel XXVI, Fig. 7, angekommen ist, so ist für die Fortsetzung des Kolbenschubes kein Dampf mehr nothwendig, der Kolben wird aber doch, wenn auch mit abnehmender Kraft, weiter und bis an's Ende des Schubes fortgetrieben. Der dabei hinter dem Kolben expandirende Dampf wird zuletzt, wenn der Kolben am Ende des Schubes in *c c*, angekommen ist, nunmehr noch eine schwache Spannkraft besitzen, so dass er nun nicht mehr so viel werth ist, als er vor der Expansion werth war. Trägt man den Druck, mit welchem der Kolben in jedem Augenblick fortgeschoben wird (die Differenz der Pressungen gegen

die beiden Seiten des Kolbens) durch Ordinaten auf, so ist $w =$ Flächeninhalt von $a \alpha b \beta$ die Wirkung des Dampfes bis zum Eintritt der Expansion, $w_1 =$ Flächeninhalt von $b \beta c \gamma$ die Wirkung während der Expansion. Nennt man s die Dampfmenge in Kilogrammen, die bis zum Beginn der Expansion eingetreten ist, so ist $\frac{w + w_1}{s}$ die nützliche Wirkung, welche durch Ein Kilogramm

Dampf entsteht, während $\frac{w}{s}$ die nützliche Wirkung wäre, die durch Ein Kilogramm entstände, wenn keine Expansion statt fände. Der Vortheil der Expansion ist also augenscheinlich, und zwar um so grösser, je stärker expandirt wird. Doch darf die Expansion nicht so weit getrieben werden, dass gegen das Ende des Kolbenschubes die Dampfspannung hinter dem Kolben kleiner würde als der atmosphärische Vorderdruck, weil sonst durch den letzten Rest des Kolbenschubes eine negative Wirkung entstände.

Ein zweites Mittel, durch welches man eine Expansion des Dampfes veranlassen kann, besteht in der Anwendung zweier Cylinder von ungleichem Volumen, einem kleinen und einem grossen, von denen jeder mit einer Steuerung versehen ist, ähnlich derjenigen einer nicht expandirenden Maschine, die aber so eingerichtet sind, dass der Dampf, nachdem er während des ganzen Schubes gegen den Kolben des kleinen Cylinders gewirkt hat, in den grossen Cylinder eintritt, dann auf den grossen Kolben durch einen ganzen Schub wirkt und dann erst aus der Maschine entlassen wird. Nur ist diese Art von Expansion nicht so unmittelbar einleuchtend.

Maschine ohne Expansion mit Condensation. Wir wollen nun sehen, was durch die Condensation geleistet werden kann. Denken wir uns, dass wir den Raum vor dem Kolben nicht mit der freien Atmosphäre, sondern mit einem ganz geschlossenen Gefäss, das ganz leer ist, also weder Luft noch Dampf enthält (dem Condensator), in Kommunikation setzen, dieses Gefäss aber stets durch Einspritzen von kaltem Wasser gut abkühlen, so wird der Dampf, wenn er aus dem Cylinder in den Condensator entweicht, beinahe urplötzlich grösstentheils zu Wasser, so dass dann im Condensator und folglich auch in dem Cylinderraum vor dem Kolben nur eine ganz schwache Spannung eintritt. Sind wir im Stande diesen Zustand des Condensators dauernd zu erhalten, so haben wir bewirkt, dass die Kraft, mit welcher der Kolben fortgetrieben wird, grösser ist, als wenn der Dampf, nachdem er auf den Kolben gewirkt hat, in die Atmosphäre entweicht. Bevor wir untersuchen, welcher Vortheil daraus entsteht, wollen wir erst zu ermitteln suchen, auf welche

Weise wir im Condensator jenen Zustand mit schwacher Spannung dauernd erhalten können. Bei jedem Kolbenshub gelangt eine Cylinderfüllung Dampf in den Condensator und wird zu Wasser. Bei jedem Schub muss eine gewisse Wassermenge eingespritzt werden, um die Condensation des Dampfes fort und fort zu erhalten, der Condensator wird daher nach kurzer Zeit ganz mit Wasser gefüllt sein, wird daher bald wirkungslos. Wir müssen ihn daher durch eine Pumpe zu entleeren suchen; diese Pumpe ist die Luftpumpe genannt worden, weil das Condensationswasser viel Luft enthält, die im Condensator vermöge des in ihm herrschenden schwachen Druckes frei wird. Auch diese Luft muss nebst dem Wasser herausgepumpt werden. Allein mit dieser Luftpumpe ist die Sache noch nicht abgethan, die Condensation erfordert sehr grosse Wassermengen (20 bis 30^{Kilogramm} für 1^{Kilogramm} Dampf), die oftmals aus einem tiefen Brunnen gehoben, herbeigeschafft und in den Condensator und die denselben zur Abkühlung der Wände umgebende Wassercisterne gebracht werden müssen. Hierzu ist nun abermals eine Pumpe erforderlich (die sogenannte Kaltwasserpumpe). Der vollständige Condensationsapparat besteht also aus folgenden Theilen: 1) Condensator mit Vorrichtungen zum Einspritzen des Wassers; 2) Kaltwassercisterne, in welcher der Condensator aufgestellt wird und die fortwährend mit kaltem Wasser genährt wird; 3) der Luftpumpe zur Entleerung des Condensators; 4) der Kaltwasserpumpe, welche das zur Condensation des Dampfes erforderliche Wasser hebt und herbeischafft. Die zum Betriebe der beiden Pumpen erforderliche Kraft muss natürlich die Dampfmaschine liefern, wodurch deren Nutzleistung nicht wenig geschwächt wird. — Nun haben wir zu überlegen, ob und welche Vortheile das Condensationsprinzip gewährt. Abstrahiren wir vorläufig ganz und gar von den Reibungswiderständen der Maschine, so wie auch von dem Kraftaufwand, welcher zum Betrieb der Luftpumpe, der Kaltwasserpumpe und der Warmwasserpumpe nothwendig ist, und richten unsere Aufmerksamkeit nur auf die hinter dem Kolben und vor demselben herrschenden Pressungen. Nehmen wir beispielsweise an, im Condensator und folglich auch im Cylinder vor dem Kolben herrsche eine Spannung von $\frac{1}{4}$ einer Atmosphäre. Die Spannung des Dampfes hinter dem Kolben sei $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{4}$, $\frac{5}{4}$. . . einer Atmosphäre, dann wird im ersten Falle die Hälfte, im zweiten Falle ein Drittel, im dritten ein Viertel etc. des Dampfdruckes zur Ueberwindung des schädlichen Vorderdruckes noth-

wendig sein, wird daher im ersten Falle die Hälfte, im zweiten Falle

$$\frac{\frac{3}{4} - \frac{1}{4}}{\frac{3}{4}} = \frac{2}{3}, \text{ im dritten Falle } \frac{\frac{4}{4} - \frac{1}{4}}{\frac{4}{4}} = \frac{3}{4} \text{ u. s. w. von der}$$

ganzen Kraft des Dampfes günstig verwendet. Abgesehen von dem Reibungswiderstande gibt daher eine solche Condensationsmaschine mit Dampf von nur $\frac{2}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{4}{4}$, $\frac{5}{4}$. . . Atmosphären Spannkraft eben so günstige Resultate, als eine nicht expandirende Hochdruckmaschine mit Dampf von 2, 3, 4, 5 . . . Atmosphären Spannkraft. Berücksichtigt man aber die grösseren Widerstände, die eine Condensationsmaschine wegen der Condensatorpumpe veranlasst, so sieht man, dass bei einerlei Verhältniss zwischen Vorderdruck und Hinterdruck eine Condensationsmaschine minder gute Leistungen hervorbringt als eine Hochdruckmaschine. Hinsichtlich der Verwendung des Dampfes und des Brennstoffes sind daher im Allgemeinen diese Condensationsmaschinen gar nicht vortheilhaft, allein sie gewähren allerdings nicht unbedeutende praktische Vortheile und Annehmlichkeiten und Erleichterungen, dass man mit Dampf von sehr geringer Spannung nahezu das Gleiche erreicht, was nur durch hochgespannten Dampf erzielt werden kann, wenn nicht condensirt wird. Diese mit schwach gespanntem Dampf arbeitenden Condensationsmaschinen werden „Niederdruckmaschinen“ genannt, sie sind von *Watt* eingeführt worden, werden heut zu Tage zum Fabrikbetrieb nicht mehr gebraucht, wohl aber zum Betrieb der Dampfschiffe, 1) weil die reichliche Zubringung des Condensationswassers ohne Pumpe geschehen kann; 2) weil die gute Instandhaltung der Dichtungen bei Dampf von schwacher Spannkraft ungemein leicht erzielt werden kann; 3) weil die Anfertigung und Unterhaltung von grossen Dampfkesseln für Dampf von schwacher Spannkraft keinerlei Schwierigkeit verursacht; 4) weil diese Niederdruckdampfkessel weniger gefährlich sind als die Hochdruckkessel.

Die Mitteldruckmaschine mit Expansion mit Condensation. Wir haben gesehen, dass das Expansionsprinzip, insbesondere wenn es in einem hohen Grade angewendet wird, zu einer vortheilhaften Verwendung des Dampfes und mithin auch zu einer vortheilhaften Benutzung des Brennstoffs führt, dass dagegen das Condensationsprinzip Maschinen liefert, die mancherlei wichtige praktische Nebenvortheile gewähren, es liegt daher die Folgerung vor Augen, dass durch die gleichzeitige Anwendung beider Prinzipien Maschinen hergestellt werden, die bei einer niedrigen oder doch mässigen Dampf-

spannung eine starke Expansion gestatten, die demnach die Vortheile der beiden Arten von Maschinen vereinigen. Diese Maschinen werden Mitteldruckmaschinen mit Expansion und mit Condensation genannt. Diese Maschinen entstehen, wenn man eine gewöhnliche Expansionsmaschine mit einem vollständigen Condensationsapparat versieht, oder wenn man bei einer gewöhnlichen Condensationsmaschine die gewöhnliche Steuerung mit einer Expansionssteuerung vertauscht. Diese Mitteldruckmaschinen werden vorzugsweise zum Betriebe von grossen Fabrikanlagen an solchen Orten angewendet, wo es an Wasserkraft fehlt und der Brennstoff kostspielig ist. Es sind die besten Maschinen, jedoch die komplizirtesten, denn eine Expansionssteuerung ist jederzeit zusammengesetzter als eine nicht expandirende Steuerung, und der ganze vollständige Condensationsapparat bildet eine sehr zusammengesetzte Maschine; allein diese Komplikation kommt bei grossen industriellen Unternehmungen und hohen Brennstoffpreisen nicht in Betrachtung.

Einfach wirkende Maschinen. Unter einfach wirkenden Dampfmaschinen werden solche Dampfmaschinen gemeint, bei welchen der Kolben nur nach der einen Richtung mit Energie durch den Dampf getrieben, dann aber nach der entgegengesetzten Richtung ohne Einwirkung des Dampfes zurückgeführt wird. Sie werden in solchen Fällen angewendet, wenn Arbeitsmaschinen betrieben werden sollen, die abwechselnd starke und hierauf keine oder geringe Widerstände verursachen, wie dies der Fall ist bei den Pumpen, vermittelt welchen grosse Städte mit Trinkwasser versehen werden, und welche insbesondere auch bei den Bergwerken zur Hebung des Wassers gebraucht werden. Die spezielle Einrichtung dieser einfach wirkenden Dampfmaschine und insbesondere die komplizirte Ventilsteuerung, welche bei derselben angewendet wird, werden wir in der Folge bei den Wasserhaltungsmaschinen beschreiben und erklären.

Doppel-Maschinen oder gekuppelte Maschinen. Eine Doppelmaschine entsteht, wenn man zwei von den im Vorhergehenden erklärten Dampfmaschinen auf eine Welle einwirken lässt, die mit zwei unter rechtem Winkel gegen einander gestellte Kurbeln versehen ist. Tafel XXVI, Fig. 8 stellt einen Grundriss einer solchen Maschine dar. Durch diese Verbindung zweier gewöhnlichen Maschinen wird eine grosse Regelmässigkeit der Bewegung der Kurbelwelle und mithin auch aller Arbeitsmaschinen erzielt, die von dieser Kurbelwelle aus getrieben werden. Doppelmaschinen werden sehr häufig angewendet. Die Lokomotiven und Dampfschiffe sind

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;