Für $F = 200$ und $m = 6$ z. B. erhält man nach dieser Vorschrift $d = 1{\cdot}867$ Zoll (nach der betreffenden Tabelle 1·9 Zoll), also $f = 2{\cdot}738\square'' = {\cdot}019\square'$, während man nach der theoretischen Formel ($\delta$), wegen $F = 200$, $m = 6$ und $t = 160{\cdot}2$ sofort $f = {\cdot}004284\square'$ findet, so, dafs also hier noch nahe die $4\frac{1}{2}$fache Sicherheit Statt findet, indem diese Ventilfläche $4\frac{1}{2}$ Mal kleiner seyn könnte als vorgeschrieben ist. Allerdings wird dabei vorausgesetzt, dafs das Ventil dem ausströmenden Dampf kein Hindernifs entgegensetzt, was wohl niemals völlig der Fall ist, besonders wenn es sich nicht hoch genug hebt.

Zur noch grofseren Sicherheit, mufs jeder Dampfkessel mit zwei solchen Sicherheitsventilen versehen werden, welche am besten so weit wie möglich von einander entfernt angebracht werden.

Dafs sich endlich das Ventil wenigstens um den vierten Theil des Durchmessers der Ventilöffnung mufs heben können, um dem Dampf den gehörigen Ausgang zu gestatten, ist bereits in §. 427 (Anmerk.) nachgewiesen.

## Wanddicke der cylinderischen Dampfkessel.

(§. 502.)

**273.** Bezeichnet $D$ den Durchmesser des Kessels, $d$ die Wand- oder Blechdicke, $q$ den auf die Flächeneinheit im innern des Kessels Statt findenden Druck und $m$ die absolute Festigkeit der Kesselbleche; so ist nach Relat. (1) in Nr. **132**, $d = \frac{1}{2} D . \frac{q}{m}$ oder mit Rücksicht auf die nöthige eigene Stabilität des Kessels (§. 276 u §. 277):

$$d = \frac{Dq}{2m} + {\cdot}114 \quad . \; . \quad (\alpha)$$

wenn man nämlich den W. Zoll zum Grunde legt.

Drückt man den Druck $q$ in Atmosphären aus und nimmt an, dafs die absolute Dampfspannung im Kessel $n$, folglich der Überdruck $n - 1$ Atmosphären beträgt; so ist, den Druck einer Atmosphäre auf den Quadratzoll zu 12·75 Pfund angenommen, $q = 12{\cdot}75\,(n - 1)$, folglich, wenn man diesen Werth in ($\alpha$) substituirt,

$$d = 6{\cdot}375\,(n - 1)\,\frac{D}{m} + {\cdot}114$$

Nimmt man nun, für Kessel aus Eisenblech nach der Bemerkung in § 253 (Anmerk.) für das noch innerhalb der Elasticitätsgrenze liegende Tragvermögen des Schmiedeeisens in runder Zahl 16000 Pfund, setzt also in diesem letztern Ausdruck statt der absoluten Festigkeit $m = 16000$; so wird, wenn man gleich reducirt:

$$d = {\cdot}000398\,(n - 1)\,D + {\cdot}114 \quad . \; . \quad (\beta)$$

**274.** Die durch diese Formel ($\beta$) ausgedrückte Blechdicke würde hinreichend seyn, wenn der Kessel 1stens vollkommen cylinderisch wäre, 2tens aus einem einzigen Stück (wie aus Gufseisen) bestände und 3tens keiner höhern Temperatur, so wie überhaupt keinem bedeutenden Temperaturwechsel ausgesetzt wäre. Allein, da bei den aus Blechen zusammengenieteten Dampfkesseln keine dieser Bedingungen Statt findet; so nimmt man auf gerathewohl diese Bleche 4 bis 5 Mal dicker oder stärker, als sie nach dieser Formel ausfallen.

Nach der für Österreich geltenden Vorschrift, sollen die (eisernen) Kesselbleche eine Dicke erhalten, welche sich aus der Formel (§. 502)

$$d = \cdot 0018\,(n-1)\,D + \cdot 114 \quad . \quad (1)$$

bestimmen läfst, wobei $d$ und $D$ in Zollen zu nehmen sind und $n$ die absolute Dampfspannung im Kessel in Atmosphären (zu $12\frac{3}{4}$ Pf. auf den Quadratzoll) bezeichnet.

Diese Formel mit der vorigen ($\beta$) verglichen zeigt, dafs (wegen $\frac{\cdot 0018}{\cdot 000398} = 4\cdot 52$) rücksichtlich der verschiedenen eben erwähnten Umstände, welche auf den Kessel nachtheilig oder schwächend einwirken können, die Bleche (von der additionellen Stärke $\cdot 114$ Z. dabei abstrahirt) $4\frac{1}{2}$ Mal so stark genommen werden, als sonst nöthig wäre.

Anmerkung 1. Dieselbe Blechstärke ist auch in Frankreich gesetzlich vorgeschrieben, während in Preufsen die Kesselbleche etwas schwächer und zwar nach der genäherten Formel $d = \cdot 0015\,(n-1)\,D + \cdot 1$ Zoll, dagegen müssen die dem Feuer ausgesetzten Bleche etwas stärker seyn und zwar sollen die Siedröhren, welche ganz im Feuer liegen 1·6 Mal so dicke Bleche erhalten, als sie diese Formel gibt.

Wir sind übrigens der Ansicht, dafs die in der betreffenden Formel (1) vorkommende additionelle Stärke von ·114 Zoll, welche wegen der eigenen Stabilität des Kessels hinzugefügt wird, sich nur für ganz geringe Spannungen des Dampfes rechtfertigen läfst, und dafs dieses Glied mit der Zunahme der Dampfspannung allmählig abnehmen und wenn diese Expansivkraft bereits eine gewisse Gröfse erreicht hat, ganz wegfallen sollte. Diese Bemerkung ist besonders für Bleche der Locomotivkessel wichtig, in welchen der Dampf eine absolute Spannung von mehr als 7 Atmosphären erreicht und die Bleche nach der obigen Formel (1) eine übermäfsige Dicke erhalten müssen. Aus diesem Grunde hat auch die österr. Regierung bereits gestattet, dafs für Locomotivkessel in der genannten Formel (1) unter $n$ nicht die absolute Spannung sondern der Überdruck über 1 Atmosphäre verstanden (also $n-1$ statt $n$ gesetzt) werden darf, wodurch z. B. wenn die Dampfspannung 6 Atmosphären über den Luftdruck beträgt, nicht mehr $n = 7$ gesetzt werden mufs, wofür bei einem

Kessel von 40 Zoll Durchmesser $d = \cdot 546$ Zoll oder 6·55 Linien würde, sondern nur $n = 6$ und damit $d = \cdot 474$ Zoll oder 5·67 Linien genommen werden kann, wobei sich dieselbe nach der genannten Formel (1) berechnete und hinausgegebene Tabelle ebenfalls benützen läfst.

Liefse man die erwähnte additionelle Stärke bei 6 Atmosphären Überdruck verschwinden, so könnte man unserer Bemerkung zufolge die Formel (1) so modificiren, dafs man hätte

$$d = \cdot 0018\,(n-1)\,D + \cdot 114 - \cdot 019\,(n-1)$$

oder

$$d = (n-1)(\cdot 0018\,D - \cdot 019) + \cdot 114$$

wobei jedoch $n$ nicht gröfser als 7 werden dürfte, weil darüber hinaus die additionelle Stärke nicht blofs Null, sondern sogar negativ würde.

Nach dieser Formel würde z. B. für einen Kessel von 40 Zoll Durchmesser und für $n = 2, 3, 4, 5, 6, 7$ der Reihe nach $d = 2$, 2·64, 3·28, 3·91, 4·55, 5·18 Linien, während die Formel (1) $d = 2·26$, 3·14, 4·03, 4·92, 5·81, 6·70 Linien gibt.

Anmerkung 2. Für die Construction der kupfernen Dampfkessel, die übrigens ihrer Kostspieligkeit wegen äufserst selten vorkommen, gelten für die Blechdicken dieselben gesetzlichen Bestimmungen wie für die Kessel aus Eisenblech. Gufseiserne Kessel sind mit Recht in Österreich gänzlich verboten.

**275.** Die zur Vergröfserung der Heizfläche bei cylinderischen Dampfkesseln häufig angewendeten Feuer- oder Rauchröhren („Kanonen"), so wie die bei den Locomotiv- und überhaupt den Tubularkesseln vorkommenden Heizröhren, bei welchen der Druck auf die convexe Mantelfläche Statt findet, werden auf ihre rückwirkende Festigkeit in Anspruch genommen.

Um die diesfällige Stärke der Röhren zu bestimmen, sey (Fig. 166) $CA = CB = r$ der Halbmesser eines cylinderischen Rohres, $l$ dessen Länge, $q$ der Druck auf die Flächeneinheit von aufsen nach innen und zwar radial oder senkrecht gegen die Achse gerichtet und $m'$ die rückwirkende Festigkeit des Materials woraus das Rohr besteht; so ist, wenn man in dem angenommenen kreisförmigen Querschnitt des Rohrs ein reguläres Polygon von einer beliebigen Seitenzahl einschreibt und den entsprechenden Mittelpunctswinkel $ACB = \alpha$, so wie die halben Umfangswinkel $CAB = CBA = CBE = \ldots = i$ setzt, ferner die in jedem Winkelpuncte $A, B, E\ldots$ gegen den Mittelpunct $C$ wirkende Kraft mit $P$ bezeichnet und jede in zwei nach den Richtungen der Polygonseiten wirkende gleiche Seitenkräfte $p$ zerlegt, sofort:

$$P : p = Sin\,2i : Sin\,i = 2\,Cos\,i : 1 = 2\,Sin\,\frac{\alpha}{2} : 1 \text{ (wegen } 2i + \alpha = 180^0\text{)}$$

und daraus:

$$p = \frac{P}{2 \, Sin \frac{\alpha}{2}}.$$

Nimmt nun der Winkel $\alpha$ unendlich ab, wodurch das Polygon allmählig in den Kreisumfang der Röhre übergeht, so wird $Sin \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2}$ und daher $p = \frac{P}{\alpha}$ oder wegen $P = r \alpha l q$, auch

$$p = r l q.$$

Von der andern Seite ist, wenn $\delta$ wieder die Röhrendicke bezeichnet, die Kraft, welche die Röhrenwand zu zerdrücken im Stande ist, $p' = m' l \delta$, und da für das Gleichgewicht $p' = p$, also $m' l \delta = r l q$ ist, so folgt daraus:

$$\delta = \frac{r q}{m'} \; . \; . \quad (1)$$

Da nun die rückwirkende Festigkeit $m'$ immer gröfser als die absolute Festigkeit $m$ ist, so folgt aus einer Vergleichung dieses Ausdruckes (1) mit jenem (1) in Nr. **132**, dafs theoretisch genommen und unter übrigens gleichen Umständen, eine Röhre, wenn sie von aufsen nach innen gedrückt wird, dünner seyn kann, als wenn der Druck im Innern der Röhre nach aufsen Statt findet. Allein da die Erfahrung geradezu das Gegentheil zeigt, indem die Röhren im erstern Falle sehr oft schon platt gedrückt werden, während sie einem innern eben so starken Drucke noch ganz gut widerstehen, so kann die Ursache dieses scheinbaren Widerspruches nur darin liegen, dafs die Röhren in der Wirklichkeit nicht absolut rund sind, sondern von der genauen Cylinderform mehr oder weniger abweichen.

**276.** Um den Einflufs dieser Abweichung näher kennen zu lernen, wollen wir annehmen, dafs der Querschnitt einer solchen Röhre eine Ellipse $ABA'B'A$ (Fig. 167) von den Halbachsen $AC = a$ und $BC = b$ bilde und der Normaldruck auf die Flächeneinheit wieder $= q$ sey.

Zerlegt man den, in jedem Puncte $M$ der Curve Statt findenden Normaldruck $P$ in zwei Seitenkräfte $p$ und $p'$ beziehungsweise senkrecht auf die grofse und kleine Achse $AA'$ und $BB'$; so hat man für die Summe der aus dem Drucke auf den Quadranten $AMB$ abgeleiteten Seitenkräfte $p$, d. i. $\Sigma(p)$ nach dem Satze in Nr. **141**: $\Sigma(p) = q \; AC = a q$ und eben so für die Kräfte $p'$, $\Sigma(p') = q . BC = b q$.

Betrachtet man für diesen Quadranten $A$ als Stütz- oder Drehungspunct, so ist das statische Moment der im Puncte $M$ wirkenden Kraft $p$

in Beziehung auf diesen Punct, wenn man die Abscisse $AR = x$ setzt und diese um $dx$ zunehmen läfst, wodurch (Nr. **141**) $p = q\,dx$ wird, sofort $px = qx\,dx$, folglich die Summe der stat. Momente aller auf den Quadranten wirksamen Seitenkräfte $p$:

$$M = q\int_0^a x\,dx = \tfrac{1}{2} q a^2.$$

Auf gleiche Weise erhält man für die Summe der stat. Momente der Kräfte $p'$ (wenn man $BS = y$ setzt):

$$M' = q\int_0^b y\,dy = \tfrac{1}{2} q b^2.$$

Diesen beiden, in demselben Sinne wirkenden Momenten wirkt das stat. Moment $Q.BC$ aus der Kraft $Q = \Sigma(p') = bq$, welche aus dem Gesammtdruck auf den Quadranten $A'B$ entsteht, direct entgegen, so, dafs wenn man dieses Moment mit $M''$ bezeichnet, also $b^2 q = M''$ setzt, sofort das statische Moment $M + M' - M'' = \frac{1}{2} q (a^2 - b^2)$ dahin strebt einen Bruch in $A$ zu bewirken, was sofort um so gröfser, je mehr $a$ von $b$ verschieden ist und bei einer genauen cylinderischen Röhre, wegen $b = a$, gänzlich verschwindet.

So wie durch das genannte Moment, welches durch eine in $B$ nach der Richtung des Pfeils angebrachte Kraft $S$ erzeugt, und dadurch der Bruch des Quadranten $AB$ im Puncte $A$ bewirkt werden kann, eben so wird auch in $B$ ein Bruch entstehen, so als ob der Quadrant in $B$ befestigt oder eingemauert und in $A$ parallel mit $CB$ eine Kraft $S'$ angebracht wäre, deren statisches Moment ebenfalls $= \frac{1}{2} q (a^2 - b^2)$ ist.

Anmerkung 1. Der hier erörtete Umstand, dafs bei einer ovalen Röhre das Materiale nicht blofs auf seine rückwirkende Festigkeit, sondern auch in Beziehung auf dessen Widerstand gegen Biegung oder auf seine relative Festigkeit in Anspruch genommen wird, folglich eine gröfsere Wanddicke bedingt, gilt wohl eben so, wenn der Druck im innern der Röhre Statt findet, nur, dafs dann statt der rückwirkenden, die absolute Festigkeit in Anspruch genommen wird; allein es tritt dabei der wesentliche Unterschied ein, dafs im erstern Falle, nämlich bei einem Drucke von aufsen die elliptische Röhre noch mehr flach gedrückt wird (wie diefs in Fig. 167, *a* versinnlicht ist), während im zweiten Falle der innere Druck eher dahin wirkt, die Ellipse der Kreisform, als der Linie des Gleichgewichtes näher zu bringen.

Dafs aber in diesem Falle der Kreis wirklich die Linie des Gleichgewichtes ist, läfst sich leicht auf folgende Weise zeigen.

Betrachtet man die ebene Curve $MmN$ (Fig. 168), auf welche die sämmtlichen Kräfte normal wirken, als ein Polygon von unendlich vielen Seiten $mm'$, $mm''$.. in dessen Winkelpuncten diese Kräfte $p$ angebracht sind, und bezeichnet man ein Element der Curve oder eine Polygonseite $mm'$ durch d$s$, den Krümmungshalbmesser im Puncte $m$ durch $\rho$, die auf die Längeneinheit der Curve wirksame Normalkraft durch $q$ und endlich die Kraft mit welcher das Element $mm'$ ausgedehnt (oder bei einem Drucke auf die convexe Seite zusammengedrückt) wird durch $T$; so hat man, wenn die im Puncte $m$ wirkende, auf dem Curvenelement normal stehende Kraft $p = q\,\mathrm{d}s$ in zwei Seitenkräfte nach den Richtungen der Seiten $mm'$ und $mm''$ zerlegt wird, welche offenbar, da der Winkel $m'mm''$ durch diese Kraft $p$ halbirt wird, einander gleich seyn werden, sofort $p : T = Sin\, m''mn : Sin\, 0mm''$, oder wenn man W. $m''mn = i$ setzt, und da W. $0mm''$ nur unendlich wenig von einem Rechten abweicht, $p : T = Sin\, i : 1 = i : 1$ und daraus $p = q\,\mathrm{d}s = iT$ oder $T = \frac{\mathrm{d}s}{i}\,q$.

Berücksichtigt man, dafs auch W. $m0m' = i$ und $mm' = \mathrm{d}s = \rho i$ folglich $\frac{\mathrm{d}s}{i} = \rho$ ist, so hat man auch

$$T = \rho q \text{ oder } q = \frac{T}{\rho}.$$

Ist nun die betreffende Curve absolut biegsam, so fordert das Gleichgewicht, dafs erstens die Spannung $T$ in jedem Puncte $m, m', m''$ .. dieselbe sey und dafs zweitens die normale Pressung $q$ in jedem Punct $= \frac{T}{\rho}$ d. h. der Spannung dividirt durch den betreffenden Krümmungshalbmesser gleich sey. (Wäre die Curve nicht geschlossen, so müfsten die letzten Elemente $m''M$, $m'N$ ebenfalls nach diesen Richtungen jede von der Kraft $T$ gezogen oder gespannt werden.)

Da nun aber der Druck einer Flüssigkeit in einer Röhre (oder wenn dieselbe von der Flüssigkeit umgeben ist, auf die Röhre) rund herum gleich, also $q$ constant ist, so mufs auch (da $T$ ebenfalls constant) der Krümmungshalbmesser einen constanten Werth annehmen, die biegsame Curve $MmN$ also fürs Gleichgewicht in einen Kreisbogen übergehen.

Während bei einem constanten Werth von $q$ auch die Spannung $T$ (oder bei einem äufsern Drucke die Compression) in allen Puncten des Kreises dieselbe und gleich $rq$ ist, variirt sie z. B. bei der Ellipse in Fig. 167 in jedem Qudranten von einem Puncte desselben zum andern und ist z. B. in $A$ oder $A'$ gleich $aq$, während sie in $B$ und $B'$ nur gleich $bq$ ist. (Für irgend einen andern Punct $M$ findet man diese Spannung, wenn man in $M$ eine Tangente, damit parallel an den Quadranten $A'B'$ eine zweite Tangente und zwischen beiden ein Perpendikel zieht; ist $2c$ die Länge dieses Perpendikels, so ist die Spannung oder im entgegengesetzten Falle die Compression in diesem Puncte $M$ gleich $cq$.

Anmerkung 2. Aus dem hier erörterten Grunde macht man in Frankreich in der Regel jene Röhren, welche einem äufsern Drucke ausgesetzt sind noch einmal so dick als im Falle, unter sonst gleichen Umständen, dieser Druck im innern der Röhren Statt findet.

Nach der in Preufsen hierüber bestehenden Vorschrift mufs die Wanddicke solcher Röhren, wenn sie aus Eisen oder Kupferblech hergestellt werden,

$$\delta = {}^{\cdot}0067\, d \sqrt[8]{(n-1)} + {}^{\cdot}05 \text{ Zoll}$$

und für Messingröhren (die aber nie über 4 Zoll weit seyn dürfen)

$$\delta = {}^{\cdot}01\, d \sqrt[8]{(n-1)} + {}^{\cdot}07 \text{ Zoll}$$

seyn, wobei $d$ den lichten Durchmesser der Röhren und $n$ wieder den absoluten Druck in Atmosphären bezeichnet, welcher auf dieselben Statt findet.

So müfsten z. B. die messingenen 2 Zoll weiten Feuerröhren einer Locomotive, in welchem der Dampf eine absolute Spannung von 7 Atmosphären erreicht, nach dieser letztern Formel, wegen $d = 2$ und $n = 7$ eine Wanddicke von $\delta = {}^{\cdot}1063$ Zoll oder 1·28 Linien erhalten. Für eiserne oder kupferne Röhren wäre nach der erstern Formel $\delta = {}^{\cdot}0743$ Zoll oder 89 Linien.

Nach der obigen Formel (1) in Nr. 274 würde indefs, wegen des gröfseren Zusatzgliedes von ·114, diese Wanddicke noch stärker, und zwar wäre $\delta = {}^{\cdot}1356$ Zoll oder 1·6 Linien.

Aus einem Berichte der französischen Centralcommission für Dampfmaschinen vom J. 1846 geht hervor, dafs bei einem Tubularkessel nach dem *Fol*'schen Systeme (wobei die Röhren vertical stehen) bei 3 verschiedenen Kesselproben (auf den 3fachen Druck) von den 11 Fufs langen, 2·28 Zoll weiten und ·057 Zoll dicken cylinderischen kupfernen Röhren, davon jedes Mal eine, und zwar schon bei einem Drucke von 9 bis 12 Atmosphären zusammengedrückt wurde, während sie bei einem Drucke auf den concaven Theil von innen nach aufsen wahrscheinlich erst einem Drucke von 96 Atmosphären nachgegeben hätte.

Eben so wurden bei einem Dampfschiffkessel mit kupfernen Röhren von $9\frac{1}{2}$ Fufs Länge, $5\frac{3}{4}$ bis $6\frac{1}{2}$ Zoll Durchmesser und ·114 Zoll Wanddicke, mehrere Röhren bei einem Drucke von 10 Atmosphären zerdrückt, während sie einem innern Drucke bis zu 77 Atmosphären Widerstand geleistet hätten.

Nach den Versuchen des Herrn *Mary* (bei Gelegenheit als der Artesische Brunnen zu Grenelle bei Paris gebohrt wurde) erwiesen sich die Röhren aus Eisenblech weit stärker und vortheilhafter als jene aus Kupferblech, indem sich die erstern erst bei einem Drucke abzuplatten anfingen, welcher ungefähr $\frac{1}{4}$ des Druckes beträgt, bei welchem die Röhren nachgegeben hätten, wenn der Druck von innen nach aufsen vorhanden gewesen wäre, während sich die kupfernen Röhren schon beim 10ten Theile jenes Druckes, welcher im Innern angebracht, ein Zerreifsen bewirkt haben würde, zu deformiren anfingen und bei einer Pressung, die noch nicht ganz $\frac{1}{5}$ dieses Druckes betrug, ganz zusammengedrückt wurden. (*Annal. des mines*, 4e *Ser. T.* 10. *Paris*, 1846.)

Aus allen diesen Erfahrungen und Versuchen scheint hervorzugehen, nicht blofs dafs unter übrigens gleichen Umständen eiserne Röhren stärker als kupferne sind (was nach der absoluten und rückwirkenden Festigkeit beider Materialien zu erwarten war), sondern dafs das Verhältnifs des

Widerstandes gegen einen äufsern Druck zu jenem gegen das Zerreifsen bei einem innern Drucke, bei eisernen Röhren ein günstigeres als bei kupfernen Röhren ist. Aus diesem Grunde wurden auch in neuerer Zeit in England, selbst bei den Locomotivkesseln die kupfernen Röhren durch eiserne, gezogene (und geschweifste) Röhren ersetzt, welche noch den Vorzug besitzen, dafs sie selbst glühend werden können, ohne deshalb unbrauchbar zu werden.

Die Messingröhren der Locomotivkessel von 2 Zoll Durchmesser und 12 Fufs Länge erweisen sich bei einer Wanddicke von $1\frac{1}{4}$ bis 1·4 Linie hinreichend stark, um einem Drucke von 13 bis 14 Atmosphären widerstehen zu können.

## Theorie der Dampfmaschinen.

### *a*) *Ältere Theorie.*

(§. 505)

**277.** Nach dieser Theorie wird angenommen, dafs der Dampf, von seinem Eintritte in die Maschine angefangen bis zu seinem Austritte oder bis zu seiner Condensirung, fortwährend jene Temperatur beibehält, welche er im Kessel bei seiner Erzeugung besitzt, so, dafs sich also während seiner ganzen Bewegung das *Mariotte*'sche Gesetz in aller Strenge auf ihn anwenden läfst.

Diefs vorausgesetzt, sey bei einer oscillirenden Maschine $F$ die Gröfse der Kolbenfläche, $L$ die Länge des Kolbenschubes; $l$ die Länge jenes Theiles davon, welcher bei einer Expansionsmaschine (§ 490) bei offener Communication mit dem Kessel zurückgelegt wird, $p$ der Druck des Dampfes auf die Flächeneinheit im Kessel, $p'$ der Druck desselben nachdem der Kolben seinen Lauf vollendet hat und $q$ der auf die Flächeneinheit bezogene Gegendruck auf den Kolben von Seite des Condensators oder der atmosphärischen Luft; so ist die theoretische Arbeitsgröfse oder Wirkung des Dampfkolbens während des Weges $l$ bei offener Communication $w = pFl$. Hat der Kolben einen Weg $x > l$ zurückgelegt, so sey in diesem Augenblicke der Dampfdruck auf die Einheit der Kolbenfläche $= z$ (also $< p$), so ist nach dem *Mariotte*'schen Gesetze $p : z = x : l$ und daraus $z = p\frac{l}{x}$. Da man aber diesen Druck während des darauf folgenden unendlich wenigen Fortrückens um $dx$ als constant anzusehen hat, so ist die entsprechende Wirkungsgröfse $dw' = z\,dx = p\,l\frac{dx}{x}$, folglich die Wirkung des Dampfkolbens von dem Augenblicke der Absperrung des Dampfes bis zum vollendeten Kolbenlauf: