

# ZEITSCHRIFT

DES

OESTERREICHISCHEN

## INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS.

### Redactionseomité:

**Wilhelm Doderer**, Professor der Architektur am Wiener Polytechnikum; **August Fölsch**, Ingenieur; **Rudolf E. v. Grimburg**, Professor des Maschinenbaues am Wiener Polytechnikum; **Theophil Ritter von Hansen**, k. k. Oberbaurath und Professor an der Akademie der bildenden Künste; **Alois Ritter von Lichtenfels**, Directions-Secretär der Innerberger Hauptgewerkschaft; **Michael Matscheko**, Chemiker und Fabriksdirector; **Moriz Morawitz**, Inspector der österr. Nordwestbahn; **Heinrich Schmidt**, Inspector der priv. österr. Staatseisenbahn-Gesellschaft; **Wilhelm Tinter**, Professor der höheren Geodäsie an der technischen Militär-Akademie; **Dr. E. Winkler**, Professor des Eisenbahn- und Brückenbaues am Wiener Polytechnikum.

### Redacteur:

**PROF. EDMUND STIX,**

Oberingenieur der k. k. priv. österr. Staats-Eisenbahn-Gesellschaft in Wien.

### XXIII. Jahrgang.

(Mit 31 Zeichnungsblättern in Quart und Folio und in den Text gedruckten Holzschnitten.)

395510-D. Nau-ler  
1871

WIEN 1871.

Eigenthum des Vereins. — Druck und Verlag der artistischen Anstalt von R. v. Waldheim, Taborstraße 52.  
Vereinslocale und Secretariat: Tuchlauben 8. — Expedition: Schulerstraße 13.

**Versuch einer Theorie der Lehmann'schen calorischen Maschine.**

In neuester Zeit ist eine calorische Maschine construirt worden, die gegenüber den älteren Constructionen namhafte Vortheile zu haben scheint, hauptsächlich in Bezug auf den Brennmaterialverbrauch\*). Die Maschine ist eine geschlossene, braucht Kühlwasser, ist aber in der äußeren Anordnung, besonders der Kolbenbewegung, der einfachwirkenden Ericsson'schen ziemlich ähnlich. Während aber bei der letzteren es bis jetzt noch nicht gelungen ist, eine theoretische geschlossene Formel für die geleistete Arbeit aufzustellen\*\*), wegen des complicirten Ausdrucks der Kolbenbewegung, fügt sich das Hebelwerk der Lehmann'schen Maschine doch viel besser der Rechnung, obwohl es im Principe das Ericsson'sche ist. Man ist im Stande, mit Benützung gewisser Constanten, die für jede Maschine gegeben sein müssen, einen verhältnismäßig einfachen Ausdruck zu erhalten, der ihre Leistung ziemlich genau darstellt.

Im Folgenden wollen wir versuchen, einen solchen Ausdruck abzuleiten, indem wir die Construction der Maschine als bekannt voraussetzen. Ein Indicator-Diagramm, dessen Daten von Herrn Ingenieur Eckerth herrühren, soll zwei Constanten liefern, die sich durch Rechnung a priori nicht wohl bestimmen lassen und auch zur Vergleichung der wirklich beobachteten Spannungen mit den berechneten dienen.

Es bezeichne in Fig. 1, die den Apparat in ideeller Anordnung zeigt,

- A den Treibkolben;
- BC den Verdränger, der den heißen Raum vom kalten Raume trennt;
- A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> die resp. äußersten Stellungen beider; die schraffirten Theile die schädlichen Räume, wobei
- ε<sub>1</sub> die Länge des einen und
- ε<sub>2</sub> die reduzierte Länge des anderen vorstellt, wenn derselbe in einen Cylinder von gleicher Basis mit dem Treibkolben verwandelt wird;

\*) Die Lehmann'sche Heißluftmaschine von W. Eckerth. Prag, 1869.

\*\*) Die so einfache Formel in der „Wärmetheorie“ von Zeuner, die auch in die neueste Auflage von Weissbachs „Lehrbuch“ übergegangen ist, passt nur auf Maschinen, deren Dimensionsverhältnisse ungefähr die dort angenommenen sind, und gibt Näherungswerte, die unter Umständen von der Wirklichkeit bedeutend abweichen können. So z. B. wenn die Anfangsspannung gleich der Endspannung ist, gibt die Formel statt der wirklich entwickelten Arbeit den Ausdruck Null.

- f die Fläche des Treibkolbens;
- 2r<sub>1</sub> dessen Hub;
- 2r<sub>2</sub> Hub des Verdrängers;
- l<sub>2</sub> Länge seiner Schubstange;
- δ dessen Voreilungswinkel;
- k das Verhältniß  $\frac{r_2}{l_2}$ ;
- φ Drehungswinkel der Kurbel vom Treibkolben gegen die Anfangslage, wenn der Kolben ganz zurückgeschoben ist;
- p die allen Räumen gemeinschaftliche Spannung der Luft, bezogen auf die Flächeneinheit;
- G deren Totalgewicht; ferner, entsprechend der Zeuner'schen Bezeichnungsweise:
- T<sub>1</sub> die absolute Temperatur im kalten Raume;
- T<sub>2</sub> „ „ „ „ heißen „
- T<sub>m</sub> „ mittlere „ „ schädlichen Raume ε<sub>2</sub>;
- v<sub>x</sub>, v<sub>y</sub>, v<sub>m</sub> die bezüglichen specifischen Volumina der Luft;
- R eine Constante.

Die Bedeutung der übrigen Buchstaben erhellt aus der Figur.

Da die Maschine eine geschlossene ist, das Gewicht der enthaltenen Luft also fortwährend unverändert bleibt, so hat man als mathematischen Ausdruck dieser Eigenschaft, mit Benützung der bekannten Beziehungen

$$p \cdot v_x = R \cdot T_1, \quad p \cdot v_y = R \cdot T_2, \quad p \cdot v_m = R \cdot T_m$$

die Bedingungsgleichung

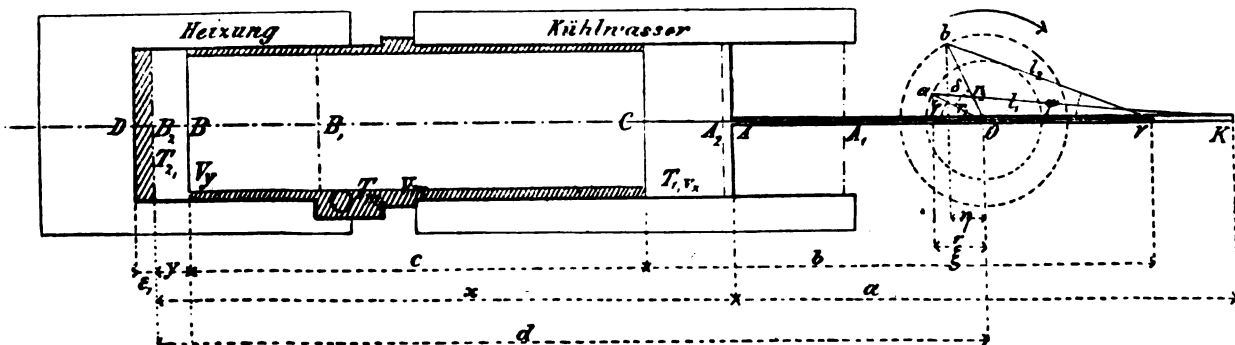
$$G = \frac{f(x-c-y)}{v_x} + \frac{f(y+\epsilon_1)}{v_y} + \frac{f \cdot \epsilon_2}{v_m} = \frac{fp}{R} \left( \frac{x-c-y}{T_1} + \frac{y+\epsilon_1}{T_2} + \frac{\epsilon_2}{T_m} \right);$$

daraus folgt die gesuchte Spannung

$$p = \frac{G \cdot R}{f} \cdot \frac{1}{\frac{x-c-y}{T_1} + \frac{y+\epsilon_1}{T_2} + \frac{\epsilon_2}{T_m}} \dots\dots\dots 1)$$

Um das Problem zu vereinfachen, nehmen wir an, wie man es bei Aufgaben dieser Art bis jetzt immer zu thun pflegte, dass die Temperaturen T<sub>1</sub> und T<sub>2</sub> fortwährend constant bleiben. Diese Hypothese erleichtert die Behandlung bedeutend und scheint, wie die Resultate zeigen, bis zu einem gewissen Grade große Wahrscheinlichkeit für sich zu haben. Was die mittlere Temperatur des schädlichen Raumes betrifft, so wechselt diese allerdings, doch auch

Fig. 1.



nicht in bedeutendem Maße. Wir denken uns denselben in zwei Räume geteilt, wovon der eine stets mit kalter Luft von der Temperatur  $T_1$ , der andere mit heißer Luft von der Temperatur  $T_2$  erfüllt ist. Nennt man  $V_1$  und  $V_2$  die Volumina,  $G_1$  und  $G_2$  die Gewichte der Luft in diesen Räumen, so ist:

$$V_1 = G_1 \cdot v_z = G_1 \cdot \frac{R \cdot T_1}{p},$$

$$V_2 = G_2 \cdot v_y = G_2 \cdot \frac{R \cdot T_2}{p},$$

$$V_1 + V_2 = (G_1 + G_2) v_m = (G_1 + G_2) \frac{R \cdot T_m}{p},$$

$$T_m = \frac{1}{\frac{1}{T_1} \left( \frac{V_1}{V_1 + V_2} \right) + \frac{1}{T_2} \left( \frac{V_2}{V_1 + V_2} \right)}$$

Bemißt man die Größen  $V_1$  und  $V_2$  nach den Längen, auf welche der Verdränger in den kalten Raum oder in den Heizraum hineinragt, so läßt sich, da der Hub des Verdrängers im Vergleich zu dessen Länge nur klein ist, etwa  $\frac{1}{4}$  derselben, mit ziemlicher Näherung setzen:

$$\frac{V_1}{V_1 + V_2} = \text{const.} = \alpha, \quad \frac{V_2}{V_1 + V_2} = 1 - \alpha,$$

und es kommt

$$T_m = \frac{1}{\frac{\alpha}{T_1} + \frac{1 - \alpha}{T_2}}$$

Setzt man noch

$$\frac{T_1}{T_2} = \tau, \quad \frac{T_1}{T_m} = \tau_m,$$

so ist

$$\tau_m = \alpha + (1 - \alpha) \tau = \tau \left( 1 - \alpha + \frac{\alpha}{\tau} \right);$$

damit wird Formel 1) zu

$$p = \frac{G \cdot R}{f} \cdot \frac{T_1}{(x - c - y) + (y + \epsilon_1) \tau + \epsilon_2 \tau \left( 1 - \alpha + \frac{\alpha}{\tau} \right)} \quad \dots 2)$$

Nun müssen die Werte von  $x$  und  $y$  eingesetzt werden. Eine vorläufige Rechnung hat gezeigt, dass die Länge der Schubstange des Verdrängers, die im Verhältnis zum Kurbelarm nicht sehr groß ist, auf die Resultate merkbarer Einfluß hat, deswegen soll sie hier berücksichtigt werden. Aus der Figur folgt unmittelbar

$$x + a = l_1 - \xi + d = l_1 + d - r_1 \cdot \cos \varphi.$$

$$y + c + b = l_2 \cos \psi - \eta + d = d - r_2 \cos(\varphi + \delta) + l_2 \cos \psi.$$

Die relative Lage von Kolben und Verdränger ist ausser den Kurbellängen und dem Voreilungswinkel noch dadurch bestimmt, dass die Entfernung  $e$  zwischen beiden gegeben wird, wenn ersterer ganz vorne, letzterer ganz hinten sich befindet, nämlich

$$x_n - (y_o + c) = e,$$

wo

$$x_n = l_1 + d + r_1 - a$$

$$y_o = 0 = d - r_2 + l_2 - b - c,$$

folglich

$$e = l_1 + d + r_1 - a - c;$$

dann ist

$$x = c + e - r_1 - r_1 \cdot \cos \varphi \quad \dots \dots \dots 3)$$

$$y = r_2 - r_2 \cdot \cos(\varphi + \delta) - l_2 (1 - \cos \psi).$$

Wegen

$$l_2 \cdot \sin \psi = r_2 \cdot \sin(\varphi + \delta)$$

folgt

$$l_2 (1 - \cos \psi) = l_2 (1 - \sqrt{1 - \sin^2 \psi}) = l_2 \left( 1 - 1 + \frac{\sin^2 \psi}{2} \right) =$$

$$= \frac{l_2}{2} \cdot \frac{r_2^2}{l_2^2} \cdot \sin^2(\varphi + \delta) = \frac{1}{2} k r_2 \sin^2(\varphi + \delta);$$

daher

$$y = r_2 - r_2 \cos(\varphi + \delta) - \frac{k r_2}{2} \sin^2(\varphi + \delta) \quad \dots \dots 4)$$

Die Werte für  $x$  und  $y$  in Gleichung 2) eingesetzt, geben

$$p = \frac{G \cdot R}{f} \cdot \frac{T_1}{e - r_1 - r_1 \cos \varphi - \left[ r_2 - r_2 \cos(\varphi + \delta) - \frac{k r_2}{2} \sin^2(\varphi + \delta) \right] (1 - \tau) + \left[ \epsilon_1 + \epsilon_2 \left( 1 - \alpha + \frac{\alpha}{\tau} \right) \right] \tau}$$

oder, wenn

$$\epsilon_1 + \epsilon_2 \left( 1 - \alpha + \frac{\alpha}{\tau} \right) = \epsilon$$

gesetzt, oder, um die Constanten  $G, R, T_1$  wegzubringen, die Spannung  $p_1$ , die dem Winkel  $\varphi = \pi$  entspricht, eingeführt wird,

$$p = p_1 \frac{\epsilon + e - \left[ \epsilon + r_1 + r_2 \cos \delta - \frac{k r_2}{2} \sin^2 \delta \right] (1 - \tau)}{\epsilon + e - r_1 - r_1 \cos \varphi - \left[ \epsilon + r_2 - r_2 \cos(\varphi + \delta) - \frac{k r_2}{2} \sin^2(\varphi + \delta) \right] (1 - \tau)}$$

oder, wenn man Zähler und Nenner durch  $e - r_1$ , die Entfernung der Mittelstellung des Treibkolbens von der hintersten Stellung des ihm zunächst liegenden Endes vom Verdränger, dividirt, und statt der Verhältnisse

$$\frac{r_1}{e - r_1}, \quad \frac{r_2}{e - r_1}, \quad \frac{\epsilon}{e - r_1},$$

beziehungsweise

$$\rho_1, \quad \rho_2, \quad \rho_3 \quad \text{und} \quad 1 - \tau = \tau_1$$

setzt,

$$p = p_1 \cdot \frac{1 + \rho_1 + \rho_3 - \left( \rho_2 + \rho_3 + \rho_2 \cos \delta - \frac{k \rho_2}{2} \sin^2 \delta \right) \tau_1}{1 + \rho_3 - \rho_1 \cos \varphi - \left[ \rho_2 + \rho_3 - \rho_2 \cos(\varphi + \delta) - \frac{k \rho_2}{2} \sin^2(\varphi + \delta) \right] \eta} \quad \dots \dots 5)$$

Bei unserer Maschine ist (die Länge in Millimetern):

$$r_1 = 88, \quad r_2 = 122, \quad e = 340, \quad e - r_1 = 252,$$

$$\rho_1 = 0,3492, \quad \rho_2 = 0,4841, \quad k = 0,31, \quad \frac{k \rho_2}{2} = 0,0750,$$

$$\alpha \text{ circa } \frac{2}{3}, \quad \tau \text{ nahezu } \frac{1}{2}, \quad \epsilon_1 = 3, \quad \epsilon_2 = 80,$$

$$\epsilon = 140, \quad \rho_1 = 0,5556,$$

$$\delta = 65^\circ, \quad \sin \delta = 0,9063, \quad \cos \delta = 0,4226,$$

$$\rho_1 \cdot \sin \delta = 0,4386, \quad \rho_2 \cdot \cos \delta = 0,2045.$$

Für das Folgende ist es angezeigt, der letzten Formel eine compendiösere Gestalt zu geben. Setzen wir

$$1 + \rho_1 + \rho_3 - \left( \rho_2 + \rho_3 + \rho_2 \cos \delta - \frac{k \rho_2}{2} \sin^2 \delta \right) \tau_1 = 1,9048 - 1,1827 \cdot \eta = m \quad \dots \dots \dots 6)$$

$$1 + \rho_2 - (\rho_2 + \rho_3) \eta = 1,5556 - 1,0397 \eta = n \dots 7)$$

$$\frac{k \rho_2}{2} \cdot \sin^2(\varphi + \delta) \eta = 0,075 \sin^2(\varphi + 65^\circ) \cdot \eta = \lambda \dots 8)$$

ferner, vereinigen wir die Ausdrücke

$$- \rho_1 \cos \varphi \quad \text{und} \quad \rho_2 \cos(\varphi + \delta) \eta.$$

zufolge einer bekannten und oft gebrauchten Transformation zu einem einzigen

$$\rho \cos(\varphi - \nu),$$

wo

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{\rho_2 \cdot \sin \delta \cdot \eta}{\rho_1 - \rho_2 \cdot \cos \delta \cdot \eta} = \frac{0,4386 \cdot \eta}{0,3492 - 0,2045 \eta} \dots 9)$$

$$\rho^2 = (\rho_2 \sin \delta \cdot \eta)^2 + (\rho_1 - \rho_2 \cos \delta \cdot \eta)^2 \dots 10)$$

ist, so wird

$$p = p_1 \cdot \frac{m}{n - \rho \cdot \cos(\varphi - \nu) + \lambda} = p_1 \dots 11)$$

Durch diesen Ausdruck wäre die Spannung in jeder Kolbenstellung gegeben, wenn die zwei Constanten  $\rho_1$  und  $\eta$  bekannt wären. Diese hängen von dem Gewichte der eingeschlossenen Luft und von der Wirksamkeit des Feuerns und Abkühlens ab. Da die Maschine so beschaffen ist, dass Luft von Außen eindringen kann, wenn die Spannung innerhalb unter die atmosphärische sinkt, andererseits aber auch bei höherer Spannung Luftverluste stattfinden, so wird nach einiger Zeit des Arbeitens die eingeschlossene Luftmasse eine von der ursprünglichen im Allgemeinen verschiedene, und zwar eine solche sein, dass Luftzuwachs und Verlust sich ausgleichen. Diese Vorgänge lassen sich aber schwer der Rechnung unterziehen. Die Constante  $\eta$  ist ebenfalls schwer direct zu bestimmen. Da wir aber zwei Constanten annehmen müssen, so wählen wir dazu die Maximal- und Minimalspannung in der Maschine. Letztere bleibt, wie die Erfahrung zeigt, unter verschiedenen Betriebsumständen ziemlich constant, und zwar ist sie etwas kleiner als der atmosphärische Druck. Erstere, zunächst eine Function des Heizungsgrades, repräsentirt Aehnliches, wie etwa die Spannung im Kessel bei Dampfmaschinen, die man ja auch direct annimmt.

Wir wollen nun diese Spannungen, beziehungsweise  $p_{mx}$  und  $p_{mi}$ , deren Werte nach dem Diagramme zu 27,5 und 13,8 Zollpfund auf den Quadratzoll österreich. sich herausstellen, zur Berechnung von  $\eta$  und  $\rho_1$  benutzen, wobei wir aber dafür die übrigens unbedeutend kleineren Werte 27,3 und 13,6 annehmen, mit Berücksichtigung des Umstandes, dass die theoretische Spannung erhöht wird, im Minimum durch Luftzutritt, im Maximum in Folge der verhältnismäßig größten erhaltenden Wirksamkeit des heißen Raumes an der zugehörigen Stelle, wo die Größe des kalten Raumes bis nahe auf Null gesunken ist. (Fig. 2.)

Um einen ersten genäherten Wert des Winkels  $\nu$ , welcher der Maximal- und Minimalspannung entspricht, zu erhalten, wird es erlaubt sein, in Formel 11) das Glied  $\lambda$  vorläufig zu vernachlässigen. Man erhält so:

$$p = p_1 \cdot \frac{m}{n - \rho \cos(\varphi - \nu)},$$

und offenbar ist dann, für  $\varphi = \nu$ ,

$$p_{mx} = p_1 \cdot \frac{m}{n - \rho} = 27,3 \text{ Pfund,}$$

und für  $\varphi = \pi + \nu$ ,

$$p_{mi} = p_1 \cdot \frac{m}{n + \rho} = 13,6 \text{ Pfund,}$$

daher

$$\frac{p_{mx}}{p_{mi}} = \frac{n + \rho}{n - \rho} = c = 2,008$$

$$\rho^2 = 0,1123 n^2,$$

oder, in Zahlen

$$(0,4386\eta)^2 + (0,3492 - 0,2045\eta)^2 = 0,1123(1,5556 - 1,0397\eta)^2,$$

daraus

$$\eta = 0,5338 \text{ oder rund } 0,54.$$

Mit diesem Werte findet sich

$$\operatorname{tg} \nu = \frac{0,4386 \cdot 0,54}{0,3492 - 0,2045 \cdot 0,54} = 0,9574 \text{ oder rund } 1,0000 \text{ und}$$

$$\nu = 45^\circ.$$

Die Maximal- und Minimalspannung werden in der Nähe von Stellen liegen, für welche

$$\varphi = 45^\circ \text{ oder } \pi + 45^\circ$$

ist.

Da aber bei solcher Stelle die Spannung bekanntlich sich sehr wenig ändern wird, so erhält man noch genaue Werte von  $p_{mx}$  und  $p_{mi}$ , wenn man in die vollständige Formel 11) statt der wahren entsprechenden Werte von  $\varphi$  die obigen genäherten einsetzt. Man bekommt so

$$\frac{p_{mx}}{p_{mi}} = \frac{n + \lambda + \rho}{n + \lambda - \rho},$$

$$\lambda = \frac{k \rho_2}{2} \cdot \eta \cdot \sin^2(\varphi + \delta) = 0,075 \cdot \sin^2 110^\circ \cdot \eta = 0,0662 \eta,$$

$$\rho^2 = 0,3351^2 (n + \lambda)^2 = 0,1123 (1,5556 - 0,9735 \cdot \eta)^2,$$

oder

$$\eta^2 + 1,5422 \eta = 1,1713,$$

$$\eta = 0,558.$$

Damit erhält man

$$\operatorname{tang} \nu = \frac{0,4386 \cdot 0,558}{0,3492 - 0,2045 \cdot 0,558} = 1,0408$$

$$\nu = 46^\circ 10'.$$

Daraus folgt weiter

$$\rho = \sqrt{0,2447^2 + 0,2351^2} = 0,3393$$

$$m = 1,2448, \quad n = 0,9755$$

und

$$p = p_1 \cdot \frac{1,2448}{0,9755 - 0,3393 \cos(\varphi - 46^\circ 10') + 0,0419 \sin^2(\varphi + 65^\circ)},$$

oder

$$p = p_1 \cdot \frac{1}{0,784 - 0,273 \cos(\varphi - 46^\circ 10') + 0,034 \sin^2(\varphi + 65^\circ)} \dots 12)$$

Will man nun statt  $p_1$  die Minimalspannung als Grundconstante einführen, so gibt Formel 11):

$$p_{mi} = p_1 \cdot \frac{m}{n + \rho + \lambda_{mi}},$$

daher

$$p = p_{mi} \cdot \frac{n + \rho + \lambda_{mi}}{n - \rho \cos(\varphi - \nu) + \lambda} ; \dots\dots\dots 13)$$

in Zahlen

$$p = p_{mi} \cdot \frac{1,3512}{0,9755 - 0,3393 \cos(\varphi - 46^\circ 10') + 0,0419 \sin^2(\varphi + 65^\circ)} \dots\dots\dots 14)$$

oder, mit einigen Abrundungen,

$$p \bar{u} = \frac{13,6}{0,722 - 0,251 \cos(\varphi + 46^\circ 10') + 0,031 \sin^2(\varphi + 65^\circ)} \dots\dots\dots 15)$$

und allgemein

$$p = p_{mi} \cdot \frac{1}{\alpha - \beta \cos(\varphi - \nu) + \gamma \sin^2(\varphi + \delta)} \dots\dots\dots 16)$$

Zur Verification setze man in 15)

$$\varphi = 46^\circ 10',$$

so kommt

$$p_{mx} = 13,6 \cdot \frac{1}{0,722 - 0,251 + 0,027} = 27,3 \text{ Pfd.}$$

wie es sein soll.

Um die Resultate der Rechnung mit der Beobachtung vergleichen zu können, sind in der folgenden Tabelle die Spannungen, wie sie aus dem Indicator-Diagramm sich ergeben, mit den aus Formel 15) hervorgehenden zusammengestellt, und zwar für solche Winkel  $\varphi$ , die der Eintheilung der Diagramm-Grundlinie, resp. des Kolbenhubs in zehn gleiche Theile entsprechen, deren Cosinuse also gleich  $0, \frac{1}{5}, \frac{2}{5}$  etc. sind.

Bewegung des Treibkolbens nach auswärts											
Position	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\varphi$	$0^\circ$	$36^\circ 52'$	$53^\circ 8'$	$66^\circ 25'$	$78^\circ 28'$	$90^\circ$	$\pi - 78^\circ 28'$	$\pi - 66^\circ 25'$	$\pi - 53^\circ 8'$	$\pi - 36^\circ 52'$	$\pi$
$p_{\text{beob.}}$	21,0 ?	27,0	27,5	27,0	26,0	25,5	23,5	21,5	19,7	17,7	15,0 ?
$p_{\text{berechn.}}$	23,7	27,0	27,4 *)	27,0	26,1	24,9	23,4	21,7	19,9	17,9	14,8
Diff.	0,3 ?	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,6	0,1	-0,2	-0,2	-0,2	0,2 ?
Bewegung des Treibkolbens nach einwärts											
Position	10'	9'	8'	7'	6'	5'	4'	3'	2'	1'	0'
$\varphi$	$2\pi$	$2\pi - 36^\circ 52'$	$2\pi - 53^\circ 8'$	$2\pi - 66^\circ 25'$	$2\pi - 78^\circ 28'$	$\frac{3\pi}{2}$	$\pi + 78^\circ 28'$	$\pi + 66^\circ 25'$	$\pi + 53^\circ 8'$	$\pi + 36^\circ 52'$	$\pi$
$p_{\text{beob.}}$	24,0 ?	18,5	17,5	16,5	15,7	15,0	14,5	14,0	13,8	13,8	15,0 ?
$p_{\text{berechn.}}$	23,7	19,5	17,8	16,6	15,7	15,0	14,4	14,0	13,7	13,6	14,8
Diff.	0,3 ?	-1,0	-0,3	-0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,02	0,2 ?

\*) Diese Zahl widerspricht dem angenommenen Maximum von 27,3. Sie beträgt aber genauer nur 27,36, so dass ein Fehler von 0,06 auf Rechnung der im Vorigen angegebenen nur näherungsweise Bestimmung der Maximal- und Minimalstellen zu setzen kommt.

Die in der Tabelle enthaltenen Zahlen sind in den Diagrammen Fig. 2 deren Basis der Treibkolbenhub ist, aufgetragen. Das voll ausgezogene bezieht sich auf die Beobachtung, das punktirte auf die Rechnung. Die Curven unter dem Diagramme haben zu Abscissen die gleichzeitigen Wege der beiden Kolben, zu Ordinaten die Drehungswinkel der Kurbel vom Treibkolben.

Man wird finden, dass die Uebereinstimmung eine ziemlich befriedigende ist, wie man sie z. B. bei Dampfmaschinen kaum besser erzielen würde, bis auf zwei Stellen, wo der Fehler über zwei und fünf Procent des wahren Wertes beträgt. Der Grund davon liegt ohne Zweifel in der nicht vollkommen zutreffenden Annahme der Unveränderlichkeit der Temperatur. Wenn man bemerkt, dass jene Stelle, wo die wirkliche Spannung unter der berechneten bleibt, ungefähr dem Minimum des heissen Raumes, und die Stelle, wo die wirkliche Spannung größer als die berechnete ist, dem Minimum des kalten Raumes entspricht, so bietet sich als Erklärung obiger Abweichungen der Um-

stand dar, dass an den erwähnten Stellen die Größe des heissen, beziehungsweise des kalten Raumes eine Zeitlang beinahe unverändert bleibt, also kein Ueberströmen der Luft stattfindet, demnach die Flächen des kalten oder heissen Raumes ihre abkühlende oder erhitzende Wirkung verhältnismäßig mehr Zeit haben zu äußern, als durchschnittlich an anderen Stellen. Die Einflüsse dieser Abweichungen auf den Effect heben sich aber theilweise auf.

Indessen, der erreichte Grad der Annäherung wird wohl in allen praktischen Fällen genügen, obgleich man andererseits gestehen muß, dass durch eine wenig bedeutende Aenderung in den gewählten Constanten, besonders der des schädlichen Raumes, die Uebereinstimmung eine weniger gute geworden wäre. Uebrigens haben dieselben auf die Größe der verrichteten Arbeit weniger Einfluss.

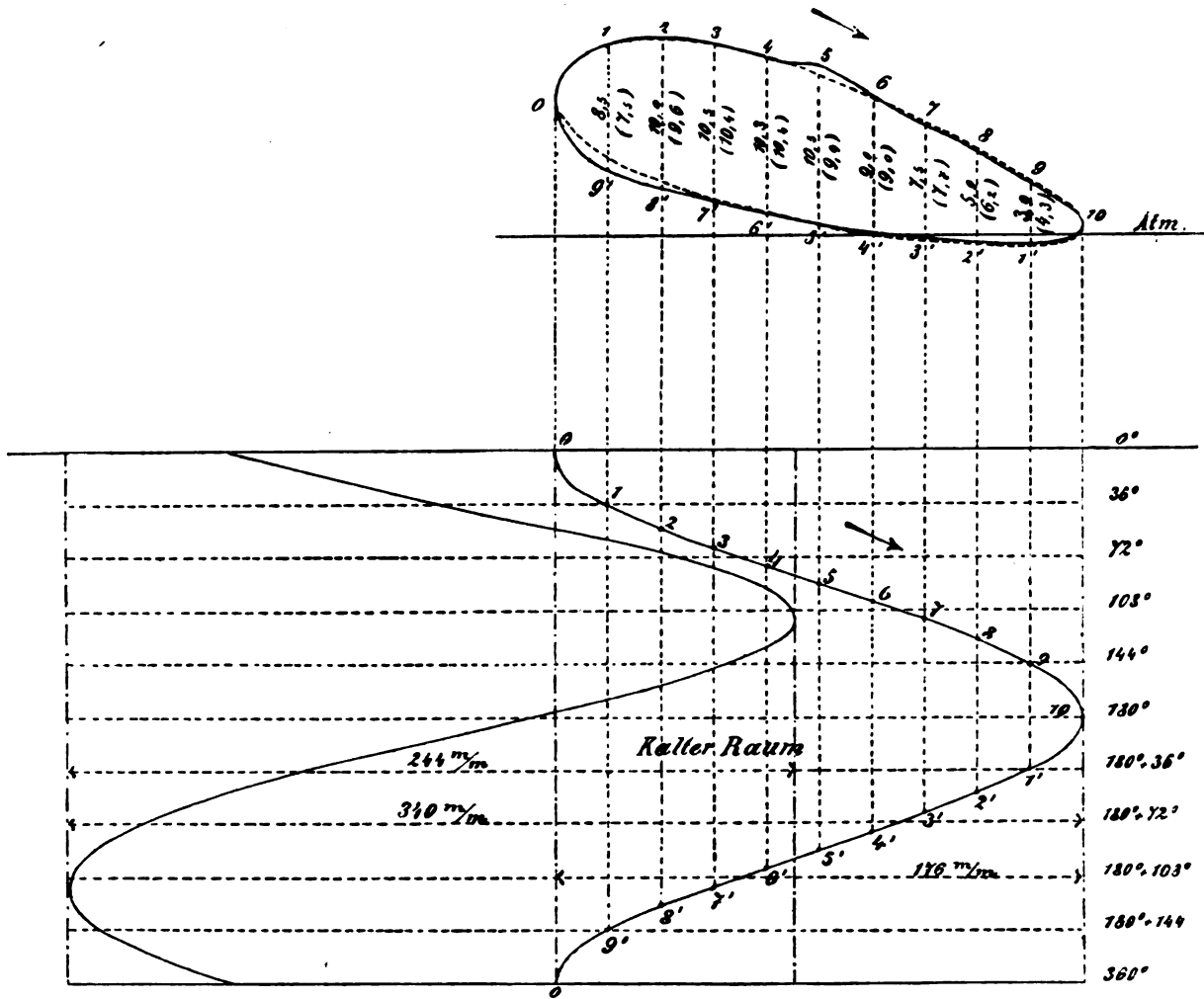
Der gefundene Wert von

$$\tau = 0,558$$

gibt

$$\tau = \frac{T_1}{T_2} = 0,442.$$

Fig. 2.



Beide Temperaturen sind nicht gemessen worden. Nimmt man an, dass die Temperatur des kalten Raumes nicht bedeutend von der des abfließenden Kühlwassers verschieden ist, so, dass wenn dieses 70° habe, im kalten Luftraum eine Temperatur von 100° C. herrsche, so wird

$$T_1 = 273^\circ + 100^\circ = 373^\circ \text{ C.}$$

$$T_2 = \frac{T_1}{0,442} = 844^\circ.$$

Dann ist die Temperatur im heißen Raume

$$844^\circ - 273^\circ = 571^\circ \text{ C.},$$

also eine sehr hohe, was auch die schnelle Abnutzung des Verdrängers zu bestätigen scheint.

Wir wollen nun zur Bestimmung der geleisteten Arbeit übergehen. Diese ist während einer Kurbelumdrehung offenbar gleich

$$\int p \cdot f \cdot dx$$

zwischen den Grenzen  $\varphi = 0$  und  $\varphi = 2\pi$ .

Die für  $p$  und  $x$  eingesetzten Werte aus 3) und 16) geben

$$L = \int_0^{2\pi} f \cdot \frac{p_{mi}}{\alpha - \beta \cdot \cos(\varphi + \nu) + \gamma \cdot \sin^2(\varphi + \delta)} \cdot r_1 \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi \dots 17)$$

Das Glied mit  $\gamma$  ist im Vergleich zu den anderen nur klein; man darf daher, mit Vernachlässigung von kleinen Größen zweiter Ordnung, schreiben:

$$L = fr_1 \cdot p_{mi} \cdot \int_0^{2\pi} \frac{\sin \varphi \cdot d\varphi}{\alpha - \beta \cdot \cos(\varphi + \nu)} - f \cdot r_1 \cdot p_{mi} \cdot \gamma \cdot \int_0^{2\pi} \frac{\sin \varphi \cdot \sin^2(\varphi + \delta) \cdot d\varphi}{[\alpha - \beta \cdot \cos(\varphi - \nu)]^2} = fr_1 \cdot p_{mi} \cdot A + fr_1 \cdot p_{mi} \cdot \gamma \cdot B \dots 18)$$

Nun ist

$$A = \int_0^{2\pi} \frac{\sin(\varphi - \nu + \nu) \cdot d(\varphi - \nu)}{\alpha - \beta \cdot \cos(\varphi - \nu)} = \int_{-\nu}^{2\pi - \nu} \frac{\sin(\psi + \nu) \cdot d\psi}{\alpha - \beta \cdot \cos \psi} = \int_0^{2\pi} \frac{(\sin \psi \cos \nu + \cos \psi \sin \nu) \cdot d\psi}{\alpha - \beta \cdot \cos \psi}$$

Das Integral mit dem ersten Glied in der Klammer verschwindet, und es bleibt

$$A = \sin \nu \int_0^{2\pi} \frac{\cos \psi \cdot d\psi}{\alpha - \beta \cdot \cos \psi} = 2 \sin \nu \int_0^\pi \left( -\frac{d\psi}{\beta} + \frac{\alpha}{\beta} \cdot \frac{d\psi}{\alpha - \beta \cdot \cos \psi} \right) = \frac{2 \sin \nu}{\beta} \left[ -\psi + \sqrt{\frac{2\alpha}{\alpha^2 - \beta^2}} \cdot \arccos \left( \frac{\alpha + \beta \cos \psi}{\alpha - \beta} \right) \right]_0^\pi$$

daher 
$$A = \frac{2\pi \sin \nu}{\beta} \left( \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha^2 - \beta^2}} - 1 \right) \dots 19)$$

Statt des Ausdruckes für  $B$  kann man schreiben:

$$B = \int_0^\pi \sin \varphi \cdot \sin^2(\varphi + \delta) \left[ \frac{1}{[\alpha - \beta \cdot \cos(\varphi - \nu)]^2} - \frac{1}{[\alpha + \beta \cdot \cos(\varphi - \nu)]^2} \right] \cdot d\varphi = \int_0^\pi \sin \varphi \cdot \sin^2(\varphi + \delta) \cdot \frac{4\alpha\beta \cdot \cos(\varphi - \nu)}{[\alpha^2 - \beta^2 \cdot \cos^2(\varphi - \nu)]^2} \cdot d\varphi$$

Hier können wir uns größere Vernachlässigungen erlauben, da der ganze Ausdruck verhältnismäßig nur klein ist. Berücksichtigt man nämlich, dass das Verhältnis  $\frac{\beta}{\alpha}$  direct vom Verhältnis der kleinsten zur größten Spannung abhängt, immer ein echter Bruch (in unserem Falle etwa  $\frac{1}{3}$ ) ist, so kann man mit genügender Näherung schreiben:

$$B = \frac{4\beta}{\alpha^3} \int_0^{\pi} \sin \varphi \cdot \sin^2(\varphi + \delta) \cos(\varphi - \nu) d\varphi \dots 20$$

Weiter ist

$$B = \frac{4\beta}{\alpha^3} \int_0^{\pi} \sin(\varphi + \delta - \delta) \sin^2(\varphi + \delta) \cos(\varphi + \delta - \delta - \nu) d(\varphi + \delta) =$$

$$= \frac{4\beta}{\alpha^3} \int_{\delta}^{\pi + \delta} \sin(\varphi - \delta) \sin^2 \varphi \cdot \cos(\varphi - \delta - \nu) d\varphi,$$

oder,

$$\delta + \nu = \sigma$$

gesetzt,

$$= \frac{4\beta}{\alpha^3} \int_{\delta}^{\pi + \delta} \sin^2 \varphi [\sin \varphi \cdot \cos \varphi \cdot \cos(\delta + \sigma) + \sin^2 \varphi \cdot \sin(\delta + \sigma) - \sin \delta \cdot \cos \sigma] d\varphi.$$

Da das Integral des ersten Theiles verschwindet, so bleibt

$$B = \frac{4\beta}{\alpha^3} \cdot \sin^2(\delta + \sigma) \int_{\delta}^{\pi + \delta} \sin^2 \varphi \cdot d\varphi -$$

$$- \frac{4\beta}{\alpha^3} \cdot \sin \delta \cdot \cos \sigma \int_{\delta}^{\pi + \delta} \sin^2 \varphi \cdot d\varphi =$$

$$= \frac{4\beta}{\alpha^3} \left[ \sin(\delta + \sigma) \frac{3}{8} \pi - \sin \delta \cdot \cos \sigma \cdot \frac{\pi}{2} \right] =$$

$$= \frac{\beta \pi}{2\alpha^3} (2 \cos \delta \sin(\delta + \nu) + \sin \nu) \dots 21$$

oder

$$B = \frac{\beta \pi}{2\alpha^3} [\sin(2\delta + \nu) + 2 \sin \nu] \dots 22$$

Der vollständige Ausdruck für die Arbeit ist somit

$$L = 2r_1 \cdot f p_{mi} \left[ \frac{\pi \sin \nu}{\beta} \left( \frac{\alpha}{\sqrt{\alpha^2 - \beta^2}} - 1 \right) - \frac{\pi \beta \gamma}{4\alpha^3} (\sin(2\delta + \nu) + 2 \sin \nu) \right] 23$$

Da  $2r_1$  den Hub des Treibkolbens bedeutet, so stellt der mit  $2r_1 \cdot f$  multiplizierte Ausdruck den sogenannten mittleren effectiven Druck vor; dieser mit  $p_e$  bezeichnet, ergibt sich

$$p_e = p_{mi} \cdot \frac{\pi}{\beta} \left[ \sin \nu \left( \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^2}} - 1 \right) - \frac{1}{4} \cdot \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^2 \cdot \frac{\gamma}{\alpha} \cdot (\sin(2\delta + \nu) + 2 \sin \nu) \right] \dots 24$$

Im vorliegenden Falle ist

$$\sin \nu = 0,7214,$$

$$\sin(2\delta + \nu) = \sin 176^\circ 10' = 0,0669,$$

$$\frac{\beta}{\alpha} = 0,3476, \quad \frac{\gamma}{\alpha} = 0,0430,$$

$$p_e = p_{mi} (0,602 - 0,025) = 7,8 \text{ Zoll-Pfd.}$$

pro 1 □" Kolbenfläche.

Rechnet man aber nach der Simpson'schen Rege den Flächeninhalt der Diagramme in Fig. 2, und darnach die mittlere Ordinate, so kommt für die berechnete Curve

$$p_e = \frac{2}{30} [2 \cdot (7,5 + 10,4 + 9,9 + 7,7 + 4,3) + 9,6 + 10,4 + 9,0 + 6,2] = 7,7 \text{ Pfd.,}$$

was mit dem obigen Resultate der Formel 24) recht gut stimmt. Für die beobachtete Curve wird

$$p_e = \frac{2}{30} [2 \cdot (8,5 + 10,5 + 10,5 + 7,5 + 3,9) + 10,0 + 10,3 + 9,0 + 5,9] = 7,8 \text{ Pfd.,}$$

genau wie nach unserer Formel.

Wenn man sich mit einem geringeren Grade der Näherung begnügt, so kann der Einfluss der endlichen Schubstangenlänge vom Verdränger außer Acht gelassen werden. Dadurch vereinfachen sich alle Formeln bedeutend, und wir erhalten, da  $\frac{\beta}{\alpha}$  immer klein ist, für die mittlere effective Spannung den Ausdruck

$$p_e = p_{mi} \cdot \frac{\pi}{2} \cdot \frac{\beta \sin \nu}{\alpha^2} \dots 25$$

der in ähnlicher Gestalt schon von Schmidt für die Schwartzkopff'sche Maschine gegeben wurde.

Die Effectberechnung einer vorhandenen Maschine unterliegt, wie man sieht, keiner Schwierigkeit, und liefert ein verlässliches Resultat. Welchen Einfluss aber die einzelnen Dimensionsverhältnisse darauf haben werden, läßt sich in vorhinein nicht so leicht angeben, da die Formeln hierzu doch nicht einfach genug sind. Um die Dimensionen einer zu konstruirenden Maschine entsprechend einer geforderten Arbeit zu bestimmen, ließe sich etwa der folgende Weg einschlagen.

Von den schädlichen Räumen wird vorerst abgesehen. Um die größtmögliche Arbeit zu erreichen, gibt Formel 25) an, dass  $\beta$  und  $\nu$  möglichst groß,  $\alpha$  möglichst klein sein müsse;  $p_{mi}$  bleibt immer etwas unter der atmosphärischen Spannung.

Aus Formel 13) findet sich

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{1}{\left(\frac{\rho}{n}\right)}$$

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{\rho}{n}}$$

$\left(\frac{\rho}{n}\right)$  muß also nebst  $\nu$  möglichst groß sein.

Die Ansicht der Formeln 10, 7 und 9 zeigt aber, dass dies geschieht, wenn  $r_1$ ,  $\delta$  und  $\frac{\rho_2}{\rho_1}$  thunlichst groß gewählt werden. Nebenbei ergibt sich aus Formel 7), dass ein großer schädlicher Raum ( $\rho_2$ ) auch  $n$  vergrößert, daher  $\frac{\rho}{n}$  verkleinert, also in der That ungünstigen Einfluss übt. Es wirken also günstig: Hohe Temperatur des Heizraumes, großer Voreilungswinkel (bis  $90^\circ$ ) und großer Hub des Verdrängers im Verhältnis zum Hub des Treibkolbens. Von diesen Grös-

sen hängt vorzugsweise der Effect ab. Die Temperatur im Heizraume wird zwischen  $500^{\circ}$  bis  $600^{\circ}$  C. zu wählen sein. Die Größen  $\rho_1$  und  $\rho_2$  sind wohl innerhalb gewisser Grenzen willkürlich, doch müssen sie so beschaffen sein, dass die Länge des kalten Raumes

$x - y - c = (e - r_1) [1 + \rho_1 \cos \varphi - \rho_2 - \rho_2 \cos (\varphi + \delta)]$   
immer positiv bleibt, und deren Minimum, das für den Winkel

$$\varphi = \arccos \left( \frac{\rho_2 \sin \delta}{\rho_1 - \rho_2 \cos \delta} \right)$$

eintritt, zweckmäßigerweise nur wenige Millimeter beträgt (in unserem Falle, wegen der endlichen Länge der Schubstange,  $23\frac{1}{2}$  mm.) Setzt man noch ein Verhältnis zwischen Durchmesser und Hub des Treibkolbens fest, ferner eine gewisse mittlere Geschwindigkeit desselben, z. B. von 0,6 Meter, so folgt mit Hilfe von (23) aus der zu leistenden Arbeit die Kolbenfläche und dann die übrigen Hauptdimensionen der Maschine. Nachdem weiter die Größe der schädlichen Räume ermittelt, und die Rechnung auf die hier durchgeführte Weise nochmals vorgenommen wird, erhält man schließlich einen corrigirten Wert der Kolbenfläche, wenn die übrigen aus der ersten Rechnung gefolgerten Dimensionen beibehalten werden.

Prag, den 30. December 1870. Aug. Salaba.

### Literarische Rundschau.

**Dampfmaschine von 4 Pferdekraften mit verticalem Kessel von Paxmann & Davey, Ingenieure der Standard Ironworks in Colchester. (Mit Abbildung.)**

Es ist dieses jene Maschine, deren Kessel bei den unlängst in Oxford abgehaltenen, vergleichenden Proben unter allen dort geprüften Kesseln die besten Resultate lieferte. Es ist ein verticaler Kessel mit verhältnismäßig hoher Feuerbüchse, in welche 16 Siederöhre reichen, die, durch die Decke der Feuerbüchse gehend, den oberen Theil des

Kessels mit dem unteren verbinden. Am unteren Ende sind dieselben bis auf circa  $\frac{3}{4}$  ihres Durchmessers zusammengezogen. Um die Heftigkeit des aufsteigenden Stromes in diesen Röhren zu mäßigen, sind auf die oberen Oeffnungen derselben Kappen aufgesetzt, die ein seitliches Ausweichen des aufsteigenden Wassers verursachen. Der Rauchfang ist an seinem unteren Ende mit einer schmiedeeisernen verstellbaren Platte versehen, welche das directe Abströmen der Verbrennungsgase hindert. Der Kessel, welcher die Maschine trägt, steht auf einem gusseisernen Kasten, der als Wasserbehälter dient. Die ganze Feuerbüchse kann behufs Reinigung oder Untersuchung leicht herausgenommen werden, da sie mit Schrauben an den Kessel befestigt ist.

Es wird weiter über eine Probe eingehend berichtet, welcher dieser Kessel neuerdings unterworfen wurde. Dieselbe wurde mit großer Sorgfalt und Genauigkeit unter Vermeidung aller Einflüsse, welche das Resultat beirren könnten, durchgeführt, und ergab eine Verdaupfung von 9,5 Pfund Wasser pr. 1 Pfund Kohle (mittelmäßiger Qualität), ein Resultat, welches von einem verticalen Kessel gleicher Größe noch nicht erreicht, und von den besten horizontalen Kesseln kaum übertroffen wurde. (The Engineer, Nr. 772 vom 14. October 1870.)

**Mittelschiene-Locomotive für die Canta-Gallo-Railway, entworfen von J. B. Fell.**

Dieselbe unterscheidet sich von dem bereits in der Zeitschrift

des österr. Ingenieur- und Architekten-Vereines 1866 Seite 2 beschriebenen Systeme Nr. 1 der Fell'schen Locomotive dadurch, dass die beiden für die Bewegung der Triebäder der Mittelschiene bestimmten Cylinder übereinander liegen, und daher jeder Cylinder auf alle 4 Triebäder wirken kann. Es entfällt daher gegen das ersterwähnte System die besondere Kuppelung der rechten mit den linken Triebädern der Mittelschiene zur Herstellung des gleichförmigen Ganges derselben. (The Engineer, Nr. 771 vom 7. October 1870.)

**Ueber französische schwere Hinterladungs- und gezogene Geschütze.**

Eine ziemlich umfassende und genaue Beschreibung der für die Flotte, für die Küstenvertheidigung und die Festungen in Frankreich eingeführten Geschützsysteme, und besonders deßhalb bemerkbar, da es in Folge der bis jetzt herrschenden Geheimhaltung die erste Publication ist, aus der über diesen Gegenstand eine wirkliche Belehrung geschöpft werden kann. Obwohl darüber bereits in mehreren französischen Werken, Zeitschriften und Broschüren geschrieben wurde, so waren diese Beschreibungen entweder absichtlich ungenau und verworren, oder es waren gerade die eigentlich interessanten Punkte übergangen. (The Engineer Nr. 773. 21. October 1870.)

**Tender-Locomotive von M. Vaessen, Ingenieur en chef de la société de St. Leonhard in Lüttich.**

Eine Kuppelachse unter der Feuerbüchse, vor derselben die Triebachse, eine Kuppelachse und ein Druckgestell mit 2 Laufachsen. Das Eigenthümliche des Systems Vaessen besteht darin, dass die hintere Kuppelachse und der Drehungsbolzen des Druckgestells eine Seitenbewegung zulassen. Der ganze Mechanismus ist außen, die Cylinder geneigt, die Feuerbüchse nach Belpère's System, die Wasserbehälter und der Kohlenraum sind an den Seiten des Kessels über den gekuppelten Achsen. (The Engineer Nr. 773 vom 21. Oct. 1870.)

**Nairn's Patent-Berg-Locomotive.**

Dieselbe hat innenliegende Cylinder von  $17\frac{1}{4}$ " Durchmesser und 16" Kolbenhub, einen 10' langen cylindrischen Kessel. Die Feuerbüchse ist oben so kurz, dass die Locomotive selbst auf Gefällen von 1:9 vor oder rückwärts fahren kann, ohne dass bei gewöhnlicher Höhe des Wasserstandes der Plafond der Feuerbüchse oder die Röhren von Wasser entblößt werden. 3 gekuppelte Achsen. Achsenstand 7', Raddurchmesser 3' 2"; die Achsen ragen über die gewöhnlichen Räder beiderseits vor und tragen daselbst 2' 4" im Durchmesser haltende 14" breite Steigräder, deren Laufkränze mit Seilen umwunden sind. Sie stecken jedoch nur lose auf den Achsen und werden von mit diesen in Verbindung stehenden Bremsen mitgenommen. Bei den starken Steigungen sind ferner neben den Schienen Langschwelen gelegt, welche mit schmiedeeisernen Platten überzogen sind, die querüber mit  $\frac{1}{4}$ " tiefen wellenförmigen Aushöhungen in abwechselnden Reihen versehen sind. Auf horizontalen Strecken oder leichten Steigungen geht nun die Locomotive auf den gewöhnlichen Triebädern, bei den starken Steigungen jedoch laufen die Steigräder über sanfte Anläufe auf die erwähnten Langschwelen und bewegen die Maschine allein weiter, da die Triebäder dann etwas über die Schienen gehoben und außer Eingriff sind. Die breiten elastischen Laufflächen der Steigräder haften so fest auf den Wellen der Flachschiene, dass ein Schleifen niemals vorkommt. Die Maschine wiegt dienstbereit 22 Tonnen; jede Achse ist mit nur 147 Zentner belastet, und es können daher leichtere Schienen verwendet werden. Die Maschine soll eine Last von 30 Tonnen, oder mit ihrem Eigengewicht 52 Tonnen über Steigungen von 1:9 befördern können. (The Engineer Nr. 775 vom 4. Nov. 1870.)

**Hochdruck-Kessel und Maschine von 70 Pferdekraften des Dampfschiffes Kirkstall von Allibon & Noyes.**

Die Maschine besteht aus 2 Paar aufeinander gesetzten Hoch- und Niederdruck-Cylindern welche wie gewöhnlich auf einem A förmigen Rahmen befestigt sind. Die Hochdruck-Cylinder haben  $12\frac{1}{4}$ " die Niederdruck-Cylinder 33" Durchmesser. Der gemeinschaftliche Kolbenhub beträgt 24". Der Dampf wird von 2 Kesseln mit zusammen 1200' Heizfläche und 38' Rostfläche erzeugt. Die Construction dieser Kessel ist neu. Das Ringkesselsystem ist hier mit Siederöhren in Verbindung gebracht. Die Kessel sind vertical, cylindrisch, oben halbkugel-

