

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 27/28 (1896)
Heft: 9

Artikel: Kraftgasanlagen und Versuche an der Dowsongas-Motorenanlage der Centralen Zürichbergbahn
Autor: Meyer, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-82324>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 20.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

INHALT: Kraftgasanlagen und Versuche an der Dowsongas-Motorenanlage der Centralen Zürichbergbahn. I. — Les locomotives pour trains de voyageurs du chemin de fer Ottoman Jonction Salonique-Constantinople. II. (Fin.) — Acetylen, ein neues Leuchtgas. — Konkurrenzen:

Erweiterung und Umbau des Rathauses in Basel. — Miscellanea: Jungfrau-bahn. Eisenbahnbauten in China. Bauten in Kairo. Feierliche Eröffnung der neuen Durchfahrt durch das eiserne Thor. — Vereinsnachrichten: Stellenvermittlung.

Kraftgasanlagen und Versuche an der Dowsongas-Motorenanlage der Centralen Zürichbergbahn.*)

Von E. Meyer, Privatdozent am eidg. Polytechnikum.

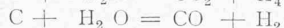
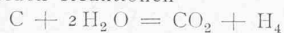
I.

Trotzdem selbst kleine Leuchtgasmotoren eine viel günstigere Wärmeausnutzung ergeben, als unsere besten Grossdampfmaschinen, vermögen sie mit diesen in Beziehung auf Billigkeit des Betriebes doch nicht in Wettbewerb zu treten. Denn dieselbe Wärmemenge, aus Leuchtgas erzeugt, ist z. B. in Zürich rund acht Mal teurer, als die unmittelbar aus Kohlen gewonnene Wärme.

Ein englischer Ingenieur, Emerson Dowson, hat das Verdienst, ein schon vor ihm¹⁾ gekanntes Gas in die Motorenpraxis eingeführt zu haben, welches durch gleichzeitiges Einblasen von Luft und überhitztem Wasserdampf in eine Schicht glühender Kohlen erzeugt wird und das bei seiner Verbrennung Wärme fast ebenso billig abgibt, wie die Kohle selbst. Es wird nach dem Genannten „Dowsongas“, seiner Verwendungsfähigkeit zu motorischen Zwecken wegen „Kraftgas“, seiner Verwandtschaft mit dem Wassergas halber „Mischgas“ oder „Halbwassergas“ und in Frankreich seinem geringen Heizwerte entsprechend „gaz pauvre“ genannt.

1. Theorie der Dowsongaserzeugung. Durch Einführung von Luft in eine Schicht glühender Kohlen verbrennt nach der älteren Anschauung der Kohlenstoff zu Kohlensäure, welche sich aber beim Vorbeistreichen an weiterer glühender Kohle zu Kohlenoxyd reduziert, falls genügend hohe Temperaturen vorhanden sind. Wie Versuche von Naumann und Pistor darthun, beginnt die Reduktion bei einer Temperatur von 550° C; bei 950° beträgt die Umsetzung 94% und bei etwa 1000° ist sie vollkommen, sodass nur noch CO entsteht. Nach neueren Anschauungen wird bei höheren Temperaturen das Kohlenoxyd nicht erst durch Reduktion der Kohlensäure erhalten, sondern entsteht primär beim Einblasen der Luft.

Wird Wasserdampf über glühende Kohlen geleitet, so finden die beiden Reaktionen



statt. Nach den genannten Experimentatoren beginnt die erstere schon bei 500° C. Bei höheren Temperaturen tritt die zweite Reaktion hinzu, und wenn die Temperatur 1000 bis 1200° C beträgt, so entstehen bei der Zersetzung des Wasserdampfes an Kohlenstoff nur noch CO und H. Bekanntlich wird durch beide Zersetzungsvorgänge Wärme gebunden, deren Menge so berechnet werden kann, wie wenn Wasserdampf zu Wasserstoff und Sauerstoff zersetzt und nunmehr der Sauerstoff mit dem zersetzenden Kohlenstoff zu CO oder CO₂ verbrennen würde.

Zur Aufstellung von Wärmegleichungen für den Generator gehen wir von der Thatsache aus, dass dieselbe Wärmemenge entwickelt wird, wenn 1 kg C zu CO vergast

(es entstehen hierbei $\frac{7}{3}$ kg CO) und die entstandene Menge Kohlenoxyds hierauf zu CO₂ verbrennt, wie wenn der Kohlenstoff unmittelbar zu CO₂ verbrennt. Es ist daher

$$Q_C^{CO_2} = Q_C^{CO} + Q_{CO}^{CO_2} \quad (1)$$

falls Q_C^{CO} bzw. $Q_C^{CO_2}$ die Wärmemenge bedeutet, welche durch Verbrennung von 1 kg C zu CO bzw. zu CO₂ entsteht, $Q_{CO}^{CO_2}$ diejenige Wärmemenge, welche durch Verbrennung des aus 1 kg C erzeugten Kohlenoxyds ($\frac{7}{3}$ kg CO) zu CO₂ frei wird.

Nach Grashof, der die von Favre und Silbermann gefundenen Werte entsprechend abgerundet hat, findet sich

$$Q_C^{CO_2} = 8000 \text{ W.-E.}$$

$$Q_C^{CO} = 2400 \text{ W.-E.}$$

$$Q_{CO}^{CO_2} = 5600 \text{ W.-E.}$$

Die Temperaturen im Dowsongasgenerator sind nie so hoch, dass neben dem Kohlenoxyd nicht auch Kohlensäure entstehen würde. Wir nehmen daher an, dass auf 1 kg C α kg zu CO₂ verbrennen, während $(1-\alpha)$ kg zu CO vergasen.

Die im Generator (auf 1 kg C) zersetzte Wassermenge betrage x kg. Um 1 kg flüssiges Wasser von ursprünglich 15° C durch Zersetzung in H und O von 15° zu verwandeln, dazu sind $\frac{34462}{9} = 3830$ W.-E. erforderlich, welche durch Verbrennung von H und O zu 1 kg flüssigem Wasser wieder frei werden.

Meistens wird das Wasser schon in Form von (überhitztem) Wasserdampf dem Generator zugeführt, wobei die Wärmemenge D (auf 1 kg C) von aussen in den letzteren eingeleitet werde.

Das erzeugte Dowsongas muss die Kohlenschichten, in welchen die chemischen Vorgänge sich abspielen, mit einer Temperatur verlassen, die jedenfalls über 550° C liegt. Es wird dabei eine Wärmemenge U aus dem Generator entführen, welche dem Unterschied zwischen Abzugstemperatur und der atmosphärischen Temperatur (15°) entspricht.

Zum Zwecke der Verwendung des Motors muss das Gas der Reinigung, sowie technischer Gründe wegen auf normale Temperatur abgekühlt werden. Es wird daher sämtliche Wärmemenge U an das Reinigungswasser verloren gehen, wenn nicht vor der Abkühlung ein Teil davon, βU , dem Generator dadurch wieder zugeführt wird, dass die frische Kohle auf die erforderliche hohe Temperatur gebracht wird, dass eine Vorwärmung von Luft und die Erzeugung oder wenigstens Ueberhitzung des Wasserdampfes mit Hilfe dieser Wärme stattfindet.

Durch Strahlung gehe endlich die Wärmemenge S verloren.

Die allgemeine Wärmegleichung für den Dowsongasgenerator lautet dann:

$$(1-\alpha) Q_C^{CO} + \alpha Q_C^{CO_2} + D + \beta U = xW + U + S$$

$$\text{oder } Q_C^{CO} + \alpha Q_{CO}^{CO_2} + D = xW + (1-\beta)U + S \quad (2)$$

Durch Verbrennung des aus 1 kg C erzeugten Dowsongases nach seiner Reinigung und Abkühlung werden $(1-\alpha) Q_C^{CO_2} + xW$ Wärmeeinheiten frei (einschliesslich der Kondensationswärme des Wasserdampfes), die bei der Gaserzeugung verlorene Wärme, der Generatorverlust, ist $[(1-\beta)U + S]$; es ist daher der Gütegrad des Generators

$$\eta = \frac{(1-\alpha) Q_C^{CO_2} + xW}{Q_C^{CO_2} + D} = \frac{Q_C^{CO_2} + D - [(1-\beta)U + S]}{Q_C^{CO_2} + D} \quad (3)$$

Sind die Werte von α , D , $[(1-\beta)U + S]$ bekannt, so lässt sich aus Gl. (2) die einzuspritzende Wassermenge x ausrechnen und dann die chemische Zusammensetzung des

*) Wir wollen nicht ermangeln, diejenigen unserer Leser, die sich besonders für diesen Gegenstand interessieren, auf einen Vortrag aufmerksam zu machen, den Herr E. Meyer am 10. Oktober letzten Jahres im württembergischen Bezirksverein gehalten hat. Der betreffende Vortrag, in welchem namentlich die Theorie der Gaserzeugung sehr einlässlich behandelt ist, findet sich wiedergegeben in Heft 51 u. 52 des letzten Jahrganges der vortrefflich geleiteten Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, deren Redakteur, Herr Direktor Th. Peters, uns die Clichés der nachfolgenden Zeichnungen mit bekannter Zuverlässigkeit zum Abdruck überlassen hat.

Die Red.

¹⁾ Siehe Lürmann, Dingl. Polyt. Journ. 195. S. 254.

entstehenden Gases angeben. Mit den entsprechenden Zahlenwerten erhält man:

$$2400 + 5600 \alpha + D = 3830 x + \{(1 - \beta) U + S\}$$

$$x = 0,627 + 1,462 \alpha + \frac{D - \{(1 - \beta) U + S\}}{3830} \quad (2^a)$$

Wird das spezifische Volumen des Wasserstoffes bei 0° und 1 kg/cm^2 Druck zu $11,523 \text{ m}^3$ angenommen, so sind die spezifischen Volumen von CO , CO_2 und N bezw. = $\frac{11,523}{14}$; $\frac{11,523}{22}$; $\frac{11,523}{14}$.

Es entstehen also aus 1 kg C

$$(1 - \alpha) \frac{16 + 12}{12} \cdot \frac{11,523}{14} = (1 - \alpha) 1,920 \text{ m}^3 \text{ an CO}$$

$$\alpha \cdot \frac{32 + 12}{12} \cdot \frac{11,523}{22} = \alpha \cdot 1,920 \text{ m}^3 \text{ an CO}_2.$$

Die $x \text{ kg}$ eingespritzten Wassers liefern

$$\frac{2}{18} x \cdot 11,523 = 1,280 x \text{ m}^3 \text{ an H}$$

und stellen zur Verfügung $\frac{16}{18} x \text{ kg}$ an O.

Zur Entwicklung der angegebenen Mengen von CO und CO_2 sind erforderlich

$$\left[(1 - \alpha) \frac{16}{12} + \alpha \frac{32}{12} \right] = (1 + \alpha) \frac{4}{3} \text{ kg an O,}$$

daher müssen in der zugeführten Luft

$$\left[(1 + \alpha) \frac{4}{3} - \frac{8}{9} x \right] \text{ kg an O enthalten sein}$$

und es finden sich somit in dem erzeugten Dowsongase

$$\left[(1 + \alpha) \frac{4}{3} - \frac{8}{9} x \right] \frac{76,5}{23,5} \cdot \frac{11,523}{14} =$$

$$= [(1 + \alpha) 3,572 - 2,382 x] \text{ m}^3 \text{ an N.}$$

Aus 1 kg C werden insgesamt erzeugt $V = (5,492 + 3,572 \alpha - 1,102 x) \text{ m}^3$ Dowsongas, gemessen bei 0° und 1 kg/cm^2 Druck.

Durch Einsetzen des Wertes von x aus (2^a) erhält man

$$V = 4,801 + 1,961 \alpha - \frac{1,102}{3830} \{D - [(1 - \beta) U + S]\} \quad (4)$$

Da von den $(8000 + D) \text{ W.-E.}$, welche an den Generatorvorgängen beteiligt sind, $[(1 - \beta) U + S] \text{ W.-E.}$ verloren gehen, so verteilt sich nur der Rest auf die $V \text{ m}^3$ Dowsongas, so dass der Heizwert des letzteren pro m^3 sich ergibt zu

$$K = \frac{8000 + D - [(1 - \beta) U + S]}{4,801 + 1,961 \alpha - \frac{1,102}{3830} \{D - [(1 - \beta) U + S]\}} \quad (5)$$

Die entwickelten Formeln geben einen unmittelbaren Einblick in die Thatsache, dass die Zusammensetzung des Dowsongases, sowie sein Heizwert und seine Menge eine ganz verschiedene sein kann nach Massgabe der den Generator bestimmenden Grössen. Insbesondere kann bei demselben Generatorverlust $[(1 - \beta) U + S]$ die Zusammensetzung eine ganz verschiedene sein, je nachdem sich die Werte von α und D ändern. Wird bei hohem α durch die unmittelbare Verbrennung von C zu CO_2 viel Wärme entwickelt, so wird, wie die Formeln zeigen, dafür auch viel Wasserdampf zersetzt. Ob ein hoher Kohlsäuregehalt daher schädlich ist, kann erst entschieden werden, wenn die Beziehung zwischen α und U , die ohne Zweifel besteht, durch Versuche ermittelt ist.

V ist um so grösser, je grösser α und der Generatorverlust $[(1 - \beta) U + S]$ und je kleiner β und D sind. Es ist also an und für sich kein günstiges Zeichen, wenn die Gasausbeute aus 1 kg C gross ist.

K ist um so grösser, je grösser D und β , und je kleiner der Generatorverlust $[(1 - \beta) U + S]$ und der Kohlsäuregehalt α sind. Man kann also auch bei kleinem Generatorverlust einen kleinen Heizwert bekommen, wenn α sehr gross und D sehr klein ist und andererseits kann man bei grossem Generatorverlust einen grossen Heizwert bekommen, wenn man nur sehr viel Wärme D von aussen zuführt. Die Grösse des Heizwertes lässt also an und für sich kein Urteil zu über die Güte eines Generators.

D sehr gross zu machen, empfiehlt sich nicht. Denn

um die Wärmemenge D in den Generator einzuführen, muss die Wärmemenge $D' > D$ aufgewendet werden, wobei $\eta = \frac{D}{D'}$ den Gütegrad des Dampfkessels, Ueberhitzers u. s. w. bezeichnet, in dem D' entwickelt wird. Diese Apparate arbeiten mit einem kleinen Gütegrade, der um so geringer wird, je höher die Ueberhitzung getrieben werden soll. Zu dem Generatorverlust $[(1 - \beta) U + S]$ kommt dann noch der Wärmeverlust $D' - D$ hinzu.

Die vorliegenden Entwicklungen gelten nur für den in Wirklichkeit nicht zutreffenden Fall, dass sich im Generator reiner Kohlenstoff befindet. Bei dem in der Praxis vorwiegend angewandten Anthracit darf neben den bis jetzt beschriebenen Vorgängen ein weiterer nicht übersehen werden, nämlich die Vergasung der in der Kohle befindlichen flüchtigen Bestandteile. Sie erfolgt wohl bei der im Generator herrschenden grossen Hitze nach Art der trockenen Destillation und liefert Kohlenwasserstoffe und Schwefelwasserstoff. Diese Gase machen zwar nur einen geringen Prozentsatz des Dowsongases aus, haben aber einen sehr hohen Heizwert, so dass sie sich schon bei kleinen Mengen in günstigem Sinne bemerkbar machen. Auch nur annähernde chemische Formeln oder Gleichungen für die Vorgänge bei ihrer Erzeugung aufzustellen, ist unmöglich.

Im Anschluss an die theoretischen Entwicklungen mögen einige der Kraftgasgeneratoren nur mit Rücksicht auf die Theorie und ohne Hervorhebung von praktischen Gesichtspunkten besprochen werden. Es findet sich bei den neueren Generatoren häufig das Bestreben, einen Teil der durch das erzeugte Gas fortgeführten Wärme U dem Generator wieder zuzuführen, also β möglichst gross zu machen, andererseits aber einen Dampfkessel oder wenigstens einen Ueberhitzer zur Vorbereitung des Wasserdampfes überflüssig, $D = 0$ zu machen.

Bei der von der Gasmotorenfabrik Deutz gewählten Anordnung¹⁾ ist $\beta = 0$, das erzeugte Dowsongas giebt die ganze Wärmemenge U an das Reinigungswasser ab. Indem der Wasserdampf in einem besonderen Dampfkessel erzeugt und überhitzt wird, geht eine beträchtliche Wärmemenge D dem Generator von aussen zu.

In der Maschinenanlage der Centralen Zürichbergbahn ist ein Generator von Heinr. Hirzel in Leipzig aufgestellt. Bei ihm befindet sich im oberen Teile des Schachtes eine Ueberhitzerschlange, durch welche der im Dampfkessel gewonnene gesättigte Dampf streicht. Er entzieht dem abziehenden Gase einen Teil der Wärme U und wird dadurch überhitzt. Es ist also D kleiner als bei der Deutzer Anlage, β ist nicht $= 0$. Eine weitere Eigentümlichkeit besitzt der Generator dadurch, dass die Luft durch ihn vorgewärmt wird, ehe sie durch das Dampfstrahl-Gebläse angesogen wird. Sie tritt zu diesem Zwecke in einen hohl-cylindrischen Raum, der sich zwischen der eigentlichen, aus feuerfesten Steinen bestehenden Wandung des Generators und dem diese umgebenden schmiedeeisernen Mantel befindet. Allein hierdurch wird für die Wärmeausnutzung nichts gewonnen, denn die zur Vorwärmung der Luft nötige Wärme wird nicht dem abziehenden Gase, sondern dem Generator selbst entzogen, der Generator wird gekühlt, was darum allerdings keinen Schaden bringt, weil die entzogene Wärme durch die Luft selbst ihm wieder zugeführt wird. Ob übrigens andere Gründe für die gewählte Vorwärmung der Luft sprechen, soll hier nicht erörtert werden.

Bei dem Generator von Gebr. Körting ist die Abzugsröhre für das Dowsongas von einer zweiten Röhre umgeben, durch welche die vom Dampfstrahlgebläse anzugsaugende Luft streichen muss. Die Heizfläche für den Wärmeaustausch ist aber verhältnismässig gering, sodass β keinen hohen Wert annehmen wird.

Das Bestreben, möglichst viel von der Wärmemenge U für den Generator wieder nutzbar zu machen, hat wohl seinen kräftigsten Ausdruck in dem Röhrenüberhitzer von Fischet & Heurtey (D. R. P. 74982), der am Taylorschen

¹⁾ s. Zeitschrift des Vereines Deutsch. Ing. 1887, S. 1007.

Generator angewandt wird¹⁾, gefunden (Fig. 1). Das Dowsongas streicht, nachdem es den Generator verlassen hat, durch ein Röhrenbündel, das in den Röhrenüberhitzer eingebaut ist. An ihm vorbei wird das vom Dampfstrahlgebläse geförderte Gemisch von Luft und Wasserdampf im Gegenstrom geführt,

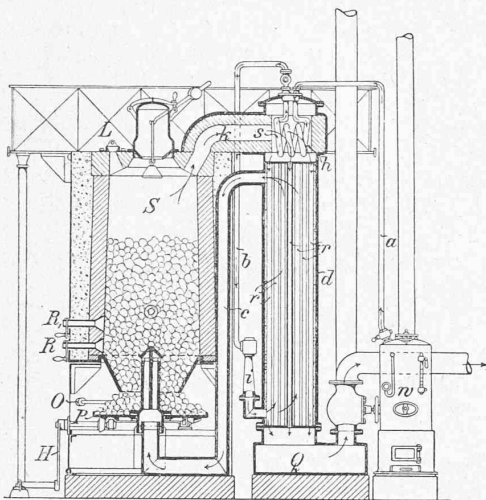


Fig. 1. Röhrenüberhitzer am Taylor'schen Gaserzeuger.

ehe es in den Generator eintritt. Da die Heizfläche sehr bedeutend ist, so wird β jedenfalls gross. Im Dampfkessel wird nur gesättigter Dampf erzeugt; die Ueberhitzerschlange befindet sich im obersten Teile des Röhrenüberhitzers, da wo das Dowsongas noch am meisten Wärme besitzt, es ist also D herabgemindert. Nach den am angegebenen Orte mitgeteilten Zahlen ist der Kohlenverbrauch der mit diesen Generatoren betriebenen Gasmotoren sehr gering.

Bei dem Gaserzeuger von Buire-Lencauchez, Fig. 2²⁾, fällt der Dampfkessel vollständig weg, es ist $D = 0$. Der

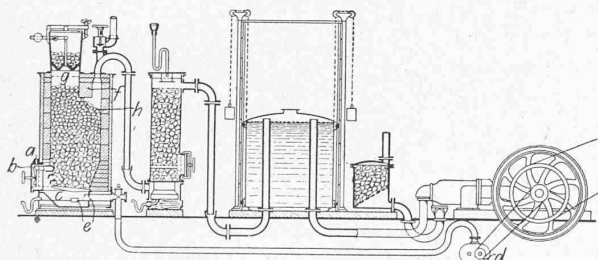


Fig. 2. Gaserzeuger von Buire-Lencauchez.

Dampf wird nämlich im Aschenfall durch die strahlende Wärme des Generators erzeugt. Ein dünner Wasserstrahl tritt bei a in die hohle Platte b , und von hier tropft das Wasser in den Aschenfall c , wo es infolge der dort herrschenden Hitze sehr rasch verdampft. Allein der entstandene Dampf hat keinen hohen Druck und vermag nicht, mittels eines Dampfstrahlgebläses Luft anzusaugen und durch den Generator zu treiben. Es ist daher ein von dem Gasmotor angetriebener Ventilator d vorhanden, welcher Luft durch die Löcher ee in den Aschenfall treibt, wo sie sich mit dem Dampf sättigt und mit ihm in die glühende Kohlen-schicht tritt. Statt der Wärmemenge D wird also eine bestimmte Menge von Arbeit dem Generator zugeführt, die aber unbedeutend ist und sich in ihm grossenteils in Wärme umsetzt.

¹⁾ s. Zeitschr. des Ver. Deutsch. Ing. 1894 S. 1321. Aus dem Vortrag von A. de Boischevalier mag wiederholt werden, dass eine Ueberhitzung des Wasserdampfes nur bei denjenigen Generatoren notwendig ist, bei welchen ein Dampfstrahlgebläse zum Einblasen von Luft und Dampf verwendet wird, da mit gesättigtem Dampf die Regelmässigkeit des Gebläses nicht gesichert wäre.

²⁾ s. Witz, Traité théorique et pratique des moteurs à gaz. II, S. 68.

Aber auch der Ventilator hat seinen Nachteil. Es lässt sich nur Gas erzeugen, wenn der Motor läuft. Um den Motor anlaufen zu lassen, muss immer so viel Gas vom vorherigen Tag in der Gasglocke sein, dass er aus dieser seinen Bedarf decken kann, bis der Generator in Brand geblasen ist.

Besonders hervorzuheben ist bei dem vorliegenden Gaserzeuger die aus feuerfesten Steinen bestehende Brücke f , welche die Einfüllöffnung des Generators von der Austrittsöffnung für das erzeugte Gas abscheidet. Die bei g lagernden Kohlen werden zur chemischen Reaktion nicht mit herangezogen, da Luft und Dampf nicht zu ihnen treten können. Entsprechend dem Sinken der Kohlenoberfläche im Generator fällt aber wohl annähernd kontinuierlich etwas Kohle von g nach b , wo nun erst die Vergasung beginnt. Auf diese Weise ist eine Art ununterbrochener Beschickung geschaffen, auf die ich später zurückkommen werde. (Forts. folgt.)

Les locomotives pour trains de voyageurs du chemin de fer Ottoman Jonction Salonique-Constantinople.

II. (Fin.)

Batis. Les longerons et les plaques de garde ont été découpés dans des plaques de fer fondu (Flusseisen) d'une seule pièce. Les équerres terminant les longerons et les reliant aux traverses d'avant et d'arrière ont été rapportées. Les tampons sont en acier.

Roues et Essieux. Les corps des roues sont en acier fondu; les jantes sont entièrement tournées. Les bandages sont en acier fondu. Ils sont alésés intérieurement et ont été emmanchés au rouge sombre avec un serrage de 0,01 m par mètre de diamètre de la roue. Ils ont été emboîtés dans la jante et fixés au moyen de vis. Toutes les faces en sont tournées au profil. Les bandages, après tournage, ont 0,08 m d'épaisseur. Les essieux sont en acier. Les tourillons des manivelles, ainsi que les tourillons d'accouplement, sont en acier doux, cémenté et trempé. Le montage des roues sur les essieux et des boutons des manivelles sur les roues a été fait à la presse hydraulique, et l'on a employé pour les faire entrer, une pression de 80000 kg pour les roues, de 40000 kg pour les boutons des manivelles motrices, et de 30000 kg pour les boutons d'accouplement.

Boîtes à huile. Les boîtes à huile sont en fer forgé, cémenté et trempé. Les glissières sont en fonte grise dure, à grains serrés. Le rattrapage du jeu des glissières des boîtes à huile a été fait par des coins. Chaque coussinet a été ajusté au rouge sur sa fusée. Chaque boîte à huile, montée avec son coussinet et son dessous de boîte coulisse dans ses guides librement et sans jeu appréciable. On a mis dans le dessous des boîtes à huile des tampons graisseurs en laine avec ressorts, pour recueillir l'huile et établir un graissage de la fusée par la partie inférieure.

Ressorts. Les lames de ressort sont en acier fondu rainé. Les ressorts ont été essayés à une charge d'épreuve double de la charge normale qu'ils doivent supporter.

Cylindres. Les cylindres sont en fonte grise dure, de deuxième fusion sans gerçures, gouttes froides, soufflures, gravelures, retassures ou autres défauts susceptibles d'altérer la résistance ou la forme des pièces. Ils sont coulés de manière à obtenir un grain aussi fin et aussi serré que possible. Les conduites des lumières des cylindres ainsi que les tubulures d'échappement sont sans étranglement. Les cylindres ont été ancrés dans les longerons de manière que les boulons de fixation ne travaillent pas au cisaillement. Le montage des couvercles des cylindres a été fait de manière que, le piston étant arrivé à fond de course, il reste un jeu de 5 mm environ à l'arrière et de 7 à 10 mm à l'avant. Les tables des tiroirs ont été rodées après le rabotage pour présenter un poli parfait, sans grains durs ni soufflures. Des bossages ont été ménagés pour permettre l'application de tables rapportées après une certaine usure.