Zeitschrift: Die Eisenbahn = Le chemin de fer

Herausgeber: A. Waldner

Band: 14/15 (1881)

Heft: 8

Artikel: Ueber Temperatur- und Ventilations-Verhältnisse im Pfaffensprung-Tunnel

Autor: Trautweiler, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-9439

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: 04.07.2025

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

INHALT: Ueber Temperatur- und Ventilationsverhältnisse im Pfaffensprung-Tunnel. Von Ingenieur A. Trautweiler. — Die electrische Eisenbahn in Lichterfelde bei Berlin. (Mit 16 in den Text gedruckten Zeichnungen.) — Continuirliche Bremsen. — Aus dem Bericht über die Arbeiten an der Gotthardbahn im Monat Juni 1881. — Miscellanea: Verein deutscher Ingenieure; Quaiproject; Technische Hochschule in Darmstadt. — Necrologie: Wilhelm Bandel; Professor Spangenberg. — Vereinsnachrichten: Generalversammlung des Vereins ehemaliger Polytechniker; Adressänderungen; Stellenvermittelung.

Ueber Temperatur- und Ventilations-Verhältnisse im Pfaffensprung-Tunnel.

Von Ingenieur *A. Trautweiler.*

(Mit einer Tafel.)

Es ist eine bekannte Thatsache, dass beim Baue längerer Tunnels die Leistungsfähigkeit der Arbeiter in dem Maasse abnimmt, als mit dem Vordringen in das Erdinnere die Temperatur an den Arbeitsstellen sich steigert und der Zutritt frischer Luft zu denselben gehemmt ist. Die Schlaffheit, mit welcher in schlechter Luft und unter Umständen schon bei Temperaturen über 20° C. gearbeitet wird, entgeht keinem aufmerksamen Beobachter. Dessenungeachtet wird der Einfluss jener Umstände auf die Baukosten leicht unterschätzt. Die Herstellung eines Kilometers Tunnel erfordert, je nach den Verhältnissen, einen Aufwand von 100 000 bis 200 000 Arbeiterschichten. Wenn dabei die Leistungsfähigkeit der Arbeiter durch die genannten Umstände nur um 1/10 herabgedrückt wird, so hat dies den Mehraufwand einer Löhnungs-Summe von 40 000 bis 100 000 Fr. zur Folge. Ein Effectverlust von 1/10 ist zudem noch nicht ausserordentlich und dürfte sich oft und beinahe unvermerkt geltend machen. Es ist damit die grosse Bedeutung der Ventilations-Frage für den Tunnelbau ausser Zweifel gestellt und diese mag es wiederum rechtfertigen, wenn wir in der vorliegenden Abhandlung einige Beobachtungen veröffentlichen, die desshalb namentlich einiges Neue bieten dürften, weil sie bei einem Tunnel von namhafter Tiefenlage und erheblicher Steigung angestellt wurden.

Wir geben vorerst im Folgenden die Resultate von Beobachtungen über Richtung und Intensität der natürlichen Luftbewegung, sowie über Temperaturen im Pfaffensprung-Tunnel. Es sind solche Beobachtungen sowohl in verschiedenen Baustadien, als auch bei verschiedenen Witterungsverhältnissen gemacht worden. Die Luftgeschwindigkeiten wurden dabei mit Hilfe einer mit dem Luftstrome vorwärts bewegten Kerzenflamme annähernd bestimmt. Für die Gebirgstemperaturen wurden die Temperaturen einer Anzahl schwächerer Quellen im Tunnel als maassgebend angenommen. Weil dieselben das Gestein langsam durchfliessen, so ist vorauszusetzen, dass sie auch annähernd dessen Temperatur besitzen.

Der Pfaffensprung-Tunnel durchsetzt in spiralförmiger Curve eine ziemlich steil abfallende Bergwand aus grösstentheils sehr zähem, grobkörnigem Gneisgranit. Ueber ihn hinweg gehen ein kleinerer und ein grösserer Wildbach. Das Bett des letztern folgt einer Schieferschicht, die auch den Tunnel durchschneidet und demselben Wasser zuführt. Im Längenprofil zeigt der Tunnel eine Maximal-Ueberlagerung von 430 *m*. Die Temperaturzunahme nach kürzesten Abständen von der Oberfläche ergab sich zu 1° C. auf ungefähr 32 *m*. In der Tunnelrichtung gemessen, gibt dies in der ersten Tunnelhälfte auf 60 *m*, in der zweiten, über der das Terrain steiler abfällt, auf 45 *m* 1°.

Wir bringen die Ergebnisse der im interessantesten Stadium des Baues, gegen Ende Januar d. J., gemachten Beobachtungen in einem Längenschnitt durch den Tunnel (Fig. 1, Längen 1 : 10 000, Höhen 1 : 500) zur Anschauung. Die Abstände der *D*-förmigen Curven von den punktirten Verticallinien sind $= \frac{1}{100}$ der Luftgeschwindigkeiten an den betreffenden Stellen. Die Längslinie, ungefähr in der halben Höhe des Profils, bezeichnet eine, in Bezug auf die Luftbewegung neutrale Region. Gebirgs- und Lufttemperaturen sind an den bezüglichen Stellen eingeschrieben (in Centigraden). Unterhalb dieser Figur befindet sich eine schematische Darstellung der in den Tunnel führenden Luft- (*L*) und Druckwasserleitungen (*W*) mit eingeschriebenen Dimensionen, Geschwindigkeiten (*u*) und atmosphärischen Drücken.

Die natürliche Ventilation.

Die Lebhaftigkeit des natürlichen Luftwechsels im Tunnel ist abhängig von der Differenz zwischen der mittleren Temperatur im Tunnel, resp. der diese bestimmenden Gebirgstemperatur und der äusseren Lufttemperatur. Diese Differenz ist maassgebend für den Gewichtsunterschied der Luftsäule im Tunnel und einer communicirenden äusseren Luftsäule von gleicher Höhe. Je grösser diese Differenz, desto grösser die bewegende Kraft. Aus Fig. 1 ist zu ersehen, dass die mittlere Temperatur im Tunnel-Eingang etwa 17,5° beträgt. Dieselbe bleibt sich stets annähernd gleich; denn die in den Tunnel strömende Luft nimmt rasch die Temperatur des Gesteins, mit dessen grosser Oberfläche sie in Berührung kommt, an. Die in der Figur wiedergegebenen Beobachtungen werden für die Eingangsseite bei + 3°, für die Ausgangsseite bei 0° äusserer Lufttemperatur gemacht. Die kältere äussere Luft strömt an der Tunnelsohle ein, wird im Tunnel erwärmt und fliesst schliesslich an der First wieder ab. Nur ein Theil der einströmenden Luftmenge gelangt indessen bis zum Ende des Vollausbruches, denn an der Berührungsfläche mit dem oberen, zurückkehrenden Luftstrom findet fortwährend ein Uebergang genügend erwärmter Theile in diesen statt, so dass die Quantität der einen bestimmten Querschnitt in der Zeiteinheit durchströmenden Luft sich nach hinten zu verringert, resp. die Geschwindigkeit abnimmt. Auf diese Weise erhalten wir im Eingang gegen das Ende des Vollausbruches hin nur noch etwa 3 m^3 Luft per Secunde. Diese Luft ist auch nicht mehr frisch zu nennen, denn sie hat unterwegs viel Feuchtigkeit aufgenommen, wodurch einer lebhaften abkühlenden Verdunstung an der Körperoberfläche Eintrag gethan ist; sie hat auch mehrere Arbeitsstellen passirt und daselbst Sprenggase und Lampenrauch mitgenommen. Auf dem Rückwege an der Tunnelfirst nimmt die Geschwindigkeit des Luftstromes wieder zu in dem Maasse, als die Quantität durch hinzukommende Theile der unteren einströmenden Schicht vermehrt wird. Wenn dann diese erwärmte Luft sich wieder der Tunnelmündung nähert, so kühlt sie sich allmählig ab und die Wasserdämpfe, mit denen sie sich gesättigt hat, verdichten sich, so dass an der Tunnelfirst ein dichter Nebel hinstreicht. Die Firststollenpartie bei 600 *m* vom Eingangsportal bleibt natürlich von diesem Luftstrome unberührt; die schlechte Luft stagnirt hier sozusagen.

Im Ausgang, wo beim Mundloch erst die beiden Stollen ausgebrochen sind, ist die Luftcirculation dessen ungeachtet eine viel lebhaftere. Wir benutzen die hier ziemlich klar liegenden Verhältnisse zu einer graphischen Darstellung in Fig. 3. Dabei sind die Abwicklungen einer Mittellinie des Luftstromes als Abscissenlängen angenommen. Die mittlere Luftquantität, welche per Secunde sowohl ein- als ausströmt, beträgt, wie aus der Figur ersichtlich, 12 m^3 (im Eingang 5 m^3). Bei 500 *m* vom Portal tritt die für den Betrieb der Wasserpumpen künstlich eingetriebene Luft zum natürlichen Luftstrome hinzu und es ist ihre Quantität durch den schmalen Streifen dargestellt, welchen die bei 300 beginnende Doppellinie einschliesst. Da diese Luft ungefähr den dritten Theil der gesammten durch die Compressoren in den Tunnel getriebenen Luft ausmacht, so springt sofort in die Augen, wie die natürliche Ventilation ungleich ausgiebiger wirkt, als die künstliche. Das Diagramm zeigt ausserdem, wie sich die Temperatur des Luftstromes fortwährend der Gesteinstemperatur anschmiegt. Aus dem Grade, in welchem die beiden bezüglichen Curven mit der zunehmenden Entfernung vom Mundloch convergiren, lässt sich schliessen, dass schon bei circa zwei Kilometer Tunnellänge die Gebirgs- und Lufttemperatur gleich würden.

Bei niedriger äusserer Temperatur, wie sie bei den zur Darstellung gelangten Beobachtungen vorhanden war, ist der Luftwechsel ein ganz befriedigender, namentlich im Ausgang, wo auch die Temperatur, wegen der geringen Länge der Tunnelröhre, eine sehr mässige ist. Im Eingang sind schon die 20° im Firststollen bei 600 *m* vom Portal recht drückend, wahrscheinlich, weil eben hier gar keine Luftbewegung stattfindet und der Körper sich nicht genügend durch Verdunstung abkühlen kann. Wenn nun aber im Freien eine Temperatur von über 15° herrscht, so haben die hinteren Tunnelpartien eine kaum wahrnehmbare Luftbewegung, und die stagnirenden Sprenggase und der Lampenrauch belästigen sehr. In den vorderen Tunnelpartien findet dabei eine Luftcirculation in umgekehrter Richtung wie bei niedriger Temperatur statt. Die

warme äussere Luft strömt an der Tunnel*first* ein, kühlt sich an dem kälteren Gestein ab und fliesst auf der Tunnel*sohle* wieder hinaus. Bei 19 ⁰ äusserer Temperatur zeigte dieser Luftstrom am Eingangsportal 0,2 *m* Geschwindigkeit per Secunde; eine wahrnehmbare Bewegung erstreckte sich jedoch bloss auf etwa 150 *m* in den Tunnel hinein.

Es geht aus dem Gesagten hervor, dass niedrige äussere Temperaturen weniger dadurch günstig wirken, dass sie dem Tunnel *kühle* Luft zuführen, als durch Beförderung des Luftwechsels überhaupt.

Nach dem Durchschlag des Richt- (Sohlen-) Stollens gestalteten sich die Verhältnisse wesentlich anders. Bei 11 ⁰ äusserer Temperatur zeigte sich unmittelbar nach dem Durchschlag im Sohlenstollen ein lebhafter Luftzug von 0,5 *m* Geschwindigkeit (per Secunde) nach dem Ausgang hin. Derselbe wirkte sowohl durch Zuführung frischer Luft, als auch durch Abkühlung des Körpers äusserst angenehm. An beiden Mündungen fand zwar immer noch in beschränktem Maasse eine Circulation in der Weise statt, wie Fig. 1 darstellt, aber es war natürlich im Eingang die ausströmende, im Ausgang die einströmende Luftmenge erheblich geringer als früher.

Bei ungefähr 16 ⁰ äusserer Temperatur findet nun aber im Sohlenstollen fast gar keine Luftbewegung statt: die Luftsäule im Tunnel hat dann die gleiche mittlere Temperatur wie die communicirende äussere und hält ihr da Gleichgewicht. An warmen Tagen aber, über 16⁰, tritt ein Luftstrom vom Ausgang nach dem Eingang ein (wie Fig. 2 darstellt). Derselbe hat bei 24 ⁰ 0,8 *m* Geschwindigkeit im Sohlenstollen und wirkt gleich wohlthätig wie der umgekehrte, indem die warme Luft sich beim Eintritt in den Tunnel rasch abkühlt. Im ersten Falle bilden die verdichteten Wasserdämpfe an der First beim Ausgang, im zweiten an der Sohle beim Eingang einen dichten Nebel.

Diese Verhältnisse gestatten schon einige Schlüsse auf die Luftbewegung nach Vollendung des Tunnels. Wenigstens ist sicher, dass bei + 16 ⁰ äusserer Temperatur die natürliche Ventilation am schlechtesten sein wird. Je mehr die Temperatur unter diesen Punkt sinkt, um so kräftiger wird ein Luftstrom sich von der unteren nach der oberen Mündung, je mehr sie darüber steigt, in umgekehrter Richtung bewegen. Bei 0 ⁰ und bei + 30 ⁰ dürfte dessen Geschwindigkeit mindestens 0,5 *m* (per Secunde) betragen und somit in der Zeit von 50 Minuten eine vollständige Lufterneuerung im Tunnel stattfinden. Es wird nun von äusserst günstiger Wirkung sein, dass bei den starken Temperaturschwankungen, wie sie der Localität eigenthümlich sind, diese mittlere Temperatur von 16⁰ nicht häufig ist. Im Winter ist es meist kälter, im Sommer ist es den Tag über wärmer, des Nachts kühler als 16 ⁰ und es verbleibt dann bloss noch als ungünstiger Moment jene Periode, wo Morgens und Abends die Luftströmung umschlägt. Ein Einfluss der vorherrschenden Windrichtungen dürfte sich kaum geltend machen, da beide Tunnelmündungen ziemlich geschützt liegen und auch bis jetzt keine namhafte Einwirkung jenes Factors bemerkt werden konnte.

Die künstliche Ventilation.

Die Einrichtungen für die künstliche Ventilation im Pfaffensprung-Tunnel entstanden nicht auf Grund eines einheitlichen Planes, sondern sie wurden successive während des Baues den Bedürfnissen und veränderten Verhältnissen gemäss angebracht. Da auf der Eingangsseite nach dem Vortrieb von 330 *m* Firststollen das Frölich'sche Bohrsystem verlassen und zur Brandt'schen (hydraulischen) Bohrung übergegangen wurde, so konnten die Luftcompressoren, welche vorher die Frölich'schen Bohrmaschinen bedient hatten, zur Ventilation im Richtstollen und den Aufbrüchen verwendet werden. Als es später noch nothwendig wurde, comprimirte Luft nach dem Ausgang zum Betrieb der dortigen Wasserpumpen zu liefern, wurde für den Eingang noch ein Centrifugal-Ventilator installirt und in dessen Luftleitung ein Strahlapparat (bei 450 *m* vom Portal in Fig. 1 dargestellt) eingeschaltet. Durch die in demselben ausströmende comprimirte Luft wurde nur die Ventilatorluft selbst angesaugt und so ihre Bewegung unterstützt.

Die beiden Compressoren lieferten per Minute 10 bis 12 m^3 Luft von atmosphärischer Spannung. Ihre Reservoirs waren durch ein Ueberdruck-Ventil in der Weise mit einander in Verbindung gebracht, dass ein Quantum von 7 bis 8 m^3 Luft für die Ventilation im Eingange und der Rest für den Betrieb der Wasserpumpen im Ausgang zur Verwendung kam. Die Ventilationsluft wurde durch eine, vorn 100, in der Mitte 75 und hinten 50 $^m/_m$ weite schmiedeiserne Leitung dem Richtstollenort und den zwei hintersten Aufbrüchen zugeführt. Ein geringeres Luftquantum wurde an den Strahlapparat abgegeben. An allen diesen Stellen konnte die Ausströmung durch Hähne regulirt werden. Der Richtstollenort brauchte während des Abschiessens etwa 3/4 Stunden lang die meiste, dann aber nur noch sehr wenig Luft während des Schutterns. Beim Bohren war der Lufthahn meist geschlossen. Je nach dem Arbeitsstadium im Sohlenstollen erhielt also ein Aufbruch 1,8 bis 2,5 m^3 Luft per Minute. Die Ventilation wurde am Richtstollenort auch durch das Ausspritzen des Druckwassers nach dem Abschiessen wesentlich unterstützt.

Der Ventilator machte circa 2700 Touren per Minute und lieferte in derselben Zeit etwa 5 m^3 Luft. Dieselbe wurde in einer 25 $^c/_m$ weiten Leitung aus galvanisirtem Eisenblech zum grössten Theil jeweils dem vordersten Aufbruche zugeführt.

Auf der Ausgangsseite war bei der lebhaften natürlichen Luftcirculation keine künstliche Ventilation nothwendig, doch wirkte die von den Pumpen gebrauchte combinirte Luft immerhin auch in diesem Sinne.

Die Ventilation am Richtstollenort.

Gegen Ende Januar d. J. waren am Richtstollenort folgende Temperaturen zu beobachten:

19—20 ⁰ während des Bohrens,
22 ⁰ nach dem Abschiessen,
22—23 ⁰ während des Schutterns.

Da zur Zeit dieser Beobachtungen der Richtstollenort die grösste Gebirgsüberlagerung aufwies, so können die obigen Temperaturen für den ganzen Stollen als Maxima gelten. Während des Bohrens wurde durch das Druckwasser, dessen Temperatur vor Ort 14 ⁰ betrug, eine wesentliche Abkühlung bewirkt, indem dasselbe die Stollensohle auf eine weite Strecke überspülte und ausserdem die Stollenbrust und die Maschinen beständig von ihm benetzt wurden. Mit dem Anzünden der Minen öffnete man jeweils gleichzeitig die Hähne der Luft- und Wasserleitung, deren Mündungen etwa 8 *m* vom Ort entfernt waren. Die Wasserleitungsröhre hatte am Ende eine Brause, durch welche das Wasser mit vollem Drucke von etwa 80 Atmosphären ausströmte. Der hohe Druck bewirkte eine ausserordentliche Zerstäubung des Wassers, so dass dieses sich sozusagen innig mit der Luft vermengte und nach der Explosion der Minen nicht nur den Gesteinsstaub niederschlug, sondern wohl auch einen Theil der Explosionsgase absorbirte. Ausserdem bewirkte es eine wesentliche Abkühlung.

Die „Spreng-Gelatine", welche im Richtstollen ausschliesslich verwendet wurde, besteht aus 90 bis 94 % Nitroglycerin und 10 bis 6 % Schiessbaumwolle. Nach Dr. Böckmann: „die explosiven Stoffe", sind die Explosionsproducte von Nitroglycerin folgende:

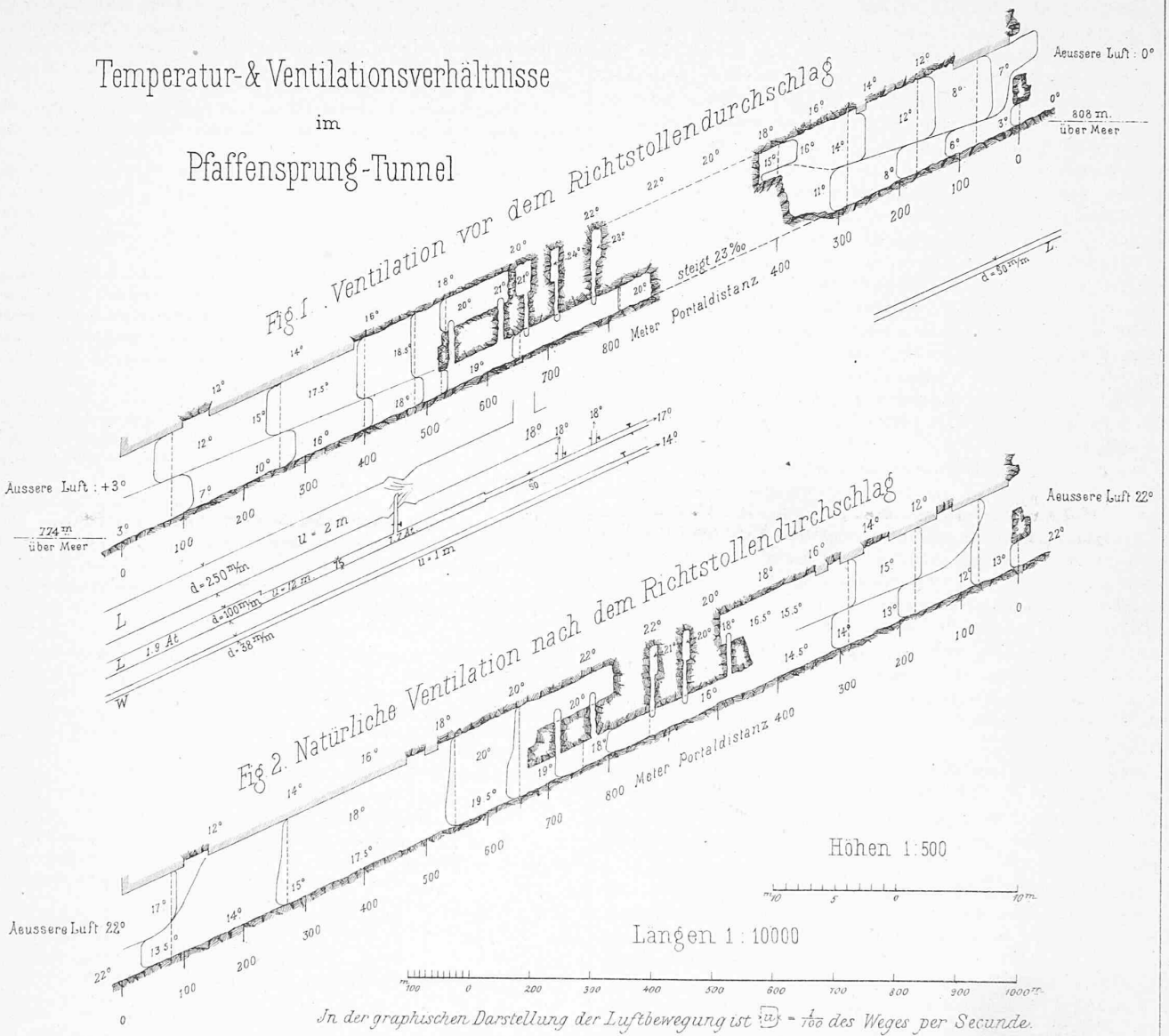
Wasser	20,0 %
Sauerstoff	3,5 %
Kohlensäure	58,0 %
Stickstoff	18,5 %

Da die Schiessbaumwolle in geringer Quantität vertreten ist und ausserdem ihre Explosionsgase annähernd dieselben sind, wie beim Nitroglycerin, so dürfen wir annehmen, die Ladung bestehe ganz aus dem letzteren Stoffe. Auf ein Abschiessen kommen nun im Mittel 20 *kg* Spreng-Gelatine, welche nach obigen Angaben folgende Sprenggase liefern:

Wasserdampf	4 000 *gr*	=	6,70 m^3
Sauerstoff	700 „	=	0,50 „
Kohlensäure	11 600 „	=	5,85 „
Stickstoff	3 700 „	=	2,95 „
	20 000 *gr*	=	16,00 m^3

Von diesen Gasen hat nun nur die Kohlensäure einen wesentlichen Einfluss auf die Verschlechterung der Luft. Sie floss vermöge ihres hohen specifischen Gewichtes auf der Stollensohle ab, während oben frische Luft zutrat. Unmittelbar nach dem Abschiessen trugen die nach dem Stollenort gehenden Leute ihre Grubenlichter meist in Kopfhöhe, weil sie unten fast auslöschten. Nach einer Viertelstunde war jeweils die Ventilation soweit gediehen, dass man vor Ort eine fast tadellose Luft fand. Es waren während dieser Zeit etwa 70 m^3 Luft eingetrieben worden, welche auf eine Länge von 15 *m* den ganzen Stollen anfüllen konnten. Es wurde nun der Wasserhahn geschlossen und man begann die Schutterung.

Temperatur- & Ventilationsverhältnisse im Pfaffensprung-Tunnel



In der graphischen Darstellung der Luftbewegung ist (u) = 1/100 des Weges per Secunde.

Fig. 3
Temperaturen und Luftbewegung im Ausgange.

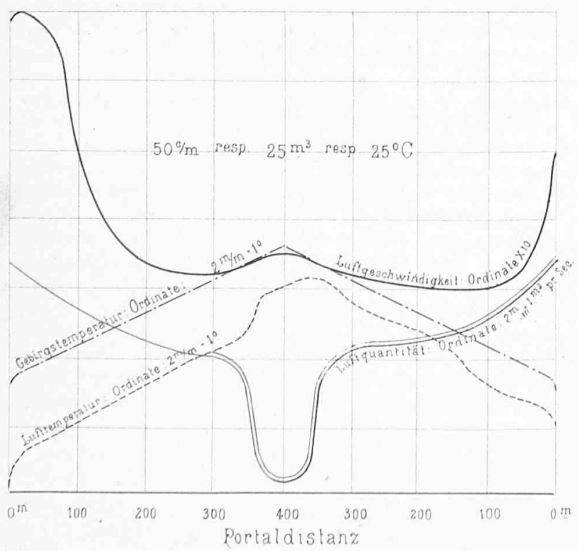
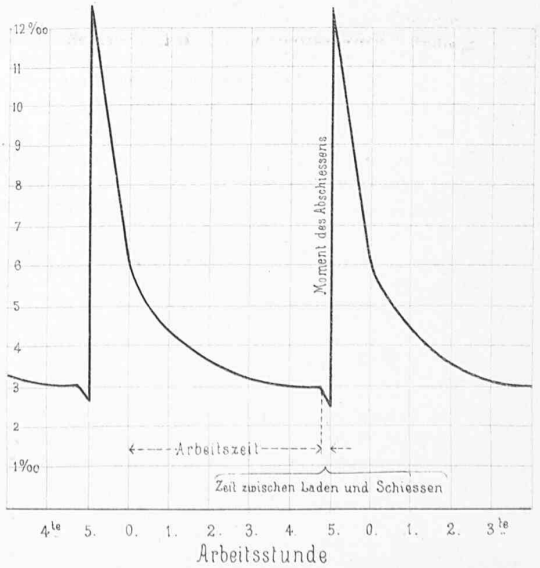


Fig. 4
Kohlensäuregehalt der Luft in einem Aufbruche.



Seite / page

44(3)

leer / vide / blank

Die Ventilation der Aufbrüche.

Wir benutzen als Beispiel den Aufbruch bei 780 *m* vom Eingangs-Portal. Derselbe zeigte am Beobachtungstage folgende Zustände:

Rauminhalt = rund 100 m^3.

Fläche des umschliessenden Gesteins = rund 100 m^2.

Temperatur der Luft im Mittel 23 ^{0}.

Gebirgstemperatur 22 ^{0}.

Anzahl der im Aufbruche beschäftigten Leute = 8.

Anzahl der brennenden Grubenlichter = 3.

Quantität der einströmenden Ventilationsluft = 1,8 bis 2,2 m^3 per Minute.

Temperatur derselben = 18 ^{0}.

Ein unmittelbar nach dem Abschiessen an einer Stange in den Aufbruch hinaufgehaltenes Thermometer zeigte 22 ^{0}, woraus sich schliessen lässt, dass die Minenexplosion jedenfalls keine irgendwie namhafte Temperaturerhöhung hervorbrachte. Es scheint im Gegentheil, nachdem die Arbeiter den Aufbruch verlassen hatten, dessen Temperatur allmälig auf die Gebirgstemperatur zurückgesunken zu sein.

2. Die Lampenwärme. Durch genaues Abwägen wurde festgestellt, dass die Flamme einer Tunnellampe im Mittel per Stunde 15,5 *gr* Oel verzehrt. Nimmt man den Heizeffect eines Kilogramms Rüböl zu 11 000 Calorien an, so geben diese 15,5 *gr* einen Heizeffect von 170 Calorien, gibt für drei Lampen per Minute $\frac{3 \times 170}{60} = 8{,}5$ Calorien.

3. Die Wärmeemission der Menschen. An der Oberfläche der Kleidung ist die Temperatur der Leute im Mittel 26 ^{0}. Nimmt man die Oberfläche eines Menschen zu 1,8 m^2 und rechnet wieder nach der genannten Formel, so erhält man für 8 Leute 3,5 Calorien per Minute.

4. Die Wärmeproduction durch den Athmungsprocess ist so unbedeutend, dass sie hier vernachlässigt werden kann. (Ein Mensch athmet per Minute 0,00106 m^3 Gase von circa 32 ^{0} Wärme aus.)

Aus den obigen Berechnungen ergibt sich, dass der Einfluss der Menschen sich zu demjenigen der Lampen verhält ungefähr wie 1 : 3 oder dass sechs Menschen gleichviel Wärme abgeben wie eine Lampe. Bei einer niedrigern oder höhern Temperatur im Aufbruche wird der Einfluss der Menschen natürlich bedeutender bezw. geringer; bei 32 ^{0} würde er aber ganz aufhören. Die oben gefundenen Werthe können nun auch dazu benutzt werden, das nothwendige Ventilationsquantum zu bestimmen, wenn die Temperatur (23 ^{0}) im Aufbruche constant bleiben soll. Bezeichnet man dieses Quantum mit Q, so muss folgende Gleichung erfüllt werden:

$$\left\{23 - \frac{8{,}9}{c \times 100} + \frac{8{,}5}{c \times 100} + \frac{3{,}5}{c \times 100}\right\} 100 + 18\,Q = 23\,(100 + Q)$$

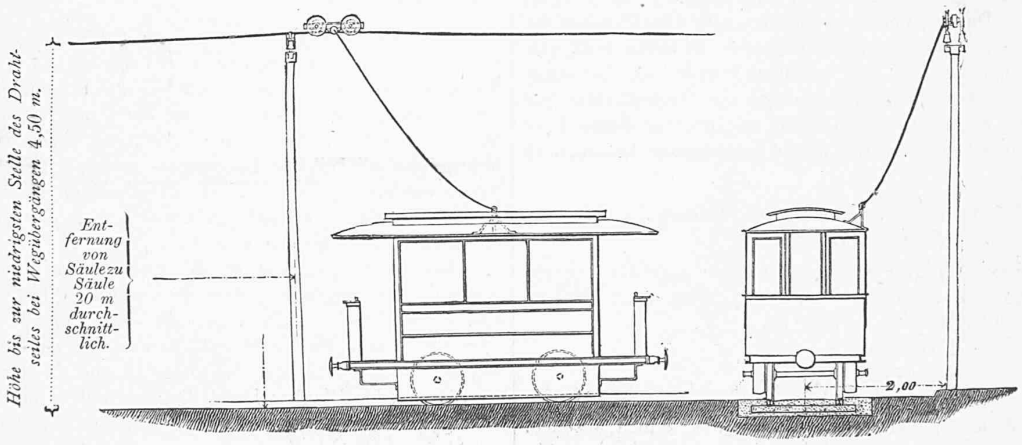
worin c = Wärmecapacität der Luft pro m^3 bei constantem Druck. Man erhält Q = 2 m^3 rund per Minute.

Es dürfte von Interesse sein, etwas allgemeiner das Ventilationsquantum in Function der Temperaturdifferenz zwischen Gebirge und Luft bei einem Aufbruche zu bestimmen. Diese Untersuchung wird ergeben, wie weit es überhaupt möglich ist, bei höheren Gebirgstemperaturen eine abgeschlossene Arbeitsstelle durch die Ventilation abzukühlen. Man darf dabei voraussetzen, dass die eingepresste Ventilationsluft auf dem langen Wege bis zur betr. Arbeitsstelle stets annähernd die Tunneltemperatur annimmt, so dass sie beim Ausströmen wohl in keinem Falle um mehr als 10 ^{0} kühler sein kann als das benachbarte Gestein. Legen wir nun einen Aufbruch von den oben angenommenen Dimensionen, aber mit 30 ^{0} Gebirgstemperatur zu Grunde, so kann der Einfluss der Menschen vernachlässigt werden, und die Rechnung enthält bloss noch die unvermeidliche Wärmeproduction der Lampen und die Wärmeemission des Gebirges gegenüber der Wärmeabsorption einer Ventilationsluft von 20^0.

Man erhält hierbei folgende Resultate:

Ueberschuss der Gebirgs- über die Lufttemperatur im Aufbruche	Entsprechendes Ventilationsquantum per Minute
0 ^{0}	2,7 m^3
1 ^{0}	6,3 m^3
2 ^{0}	11,0 m^3
3 ^{0}	17,2 m^3
4 ^{0}	26,0 m^3
5 ^{0}	38,0 m^3

Electrische Eisenbahn in Lichterfelde bei Berlin.



Projectirter Wagen bei Anwendung einer auf Säulen isolirten Leitung.

Fig. 15. Längs-Ansicht. Fig. 16. Seiten-Ansicht.

Nothwendige Ventilationsgrösse nach Maassgabe einer erträglichen Temperatur.

Die Temperatur in einem Aufbruche ist im Allgemeinen abhängig 1. von der Wärme des umgebenden Gebirges; 2. von der Wärmeproduction der vorhandenen Grubenlichter; 3. von der Wärmeemission (der Oberfläche) und Wärmeproduction (Athmung) der vorhandenen Menschen; 4. von der Quantität und Temperatur der Ventilationsluft.

Von diesen Einflüssen ist die Gebirgstemperatur der mächtigste und vermöge der grossen Oberfläche, welche dabei in's Spiel kommt, in dem Grade maassgebend, dass die Temperatur im Aufbruche nur wenig von derjenigen des umschliessenden Gebirges abweichen kann. Durch die Lampen und Menschen wird die Lufttemperatur etwas über die des Gebirges gehoben; mit der Zunahme dieser Differenz wächst nun die Wärmeabsorption des Gebirges sehr rasch, so dass ihr Einfluss, im Verein mit der Ventilationsluft, in den meisten Fällen denjenigen der Lichter und Menschen paralysiren wird, wenn jene Differenz 1 bis 2 ^{0} beträgt. Es tritt dann ein Gleichgewichtszustand ein, und einem solchen entsprechen auch die in unserem Falle im Aufbruche constant herrschenden 23 ^{0}.

Um ein Urtheil zu bekommen über den Grad, in welchem die einzelnen oben genannten Factoren an der Herstellung dieses stabilen Temperaturzustandes theilnehmen, wurde für unseren Fall die Anzahl von Calorien ermittelt, welche jeder derselben dem Aufbruche in der Minute mittheilt oder entzieht.

1. Die Gebirgswärme. Da diese geringer ist als die Temperatur im Aufbruche, so gibt dieser fortwährend Wärme an das Gebirge ab. Nach der Formel für die Wärmeemission (Deutsches Bauhandbuch, pag. 358) beträgt diese Wärmemenge in unserem Falle per Minute 8,9 Calorien.

Es liegt nun schon ein Ventilationsquantum von 26 m^3 für einen einzelnen Aufbruch (13 Mal so viel als beim Pfaffensprung-Tunnel) an der Grenze des beim Tunnelbau überhaupt practisch Möglichen und weit über der des Zweckmässigen. Es dürfte somit nahezu unmöglich sein, die mittlere Lufttemperatur in einem Aufbruche vom erwähnten Rauminhalt mehr als 4 ^{0} unter die Gebirgstemperatur herabzudrücken.

Die bedeutendste Temperaturveränderung wird gelingen, wenn ein Aufbruch den kleinsten Rauminhalt aufweist. In diesem Falle nähert sich die Aufbruchstemperatur derjenigen der Ventilationsluft. Beim Vortriebe des Firststollens vom Aufbruche aus ist aber der in unsere Rechnung eingeführte Rauminhalt von 100 m^3 bald erreicht und von diesem Moment an werden dann die Verhältnisse nur noch ungünstiger.

Es geht aus dem Gesagten hervor, dass die Gebirgstemperatur ein Factor von fast unüberwindlichem Einflusse ist für die Temperatur in einem Aufbruche. Es kann daher auch niemals Zweck der Ventilation sein, durch eine Verminderung der mittleren Aufbruchstemperatur eine günstige Wirkung zu erzielen. Die so sehr wünschbare Abkühlung wird wohl am besten direct am Körper der Arbeiter selber vorgenommen, indem man diese durch geeignete Stellung des Ventilationsrohrs einem Verdunstungswärme absorbirenden Luftstrome aussetzt (vergl. hierüber Dr. Stapff: „Wärmegrad, bei welchem in den Comstockgruben gearbeitet wird", in Nr. 10 und 11, Bd. XIII d. Bl.). Dieses Verfahren dürfte wohl auch schon bei weniger hohen Temperaturen von vortheilhafter Wirkung sein. Im Pfaffensprung-Tunnel suchten die Arbeiter jeweils den Luftstrom bloss wegen des Flackerns und Auslöschens des Grubenlichtes von sich abzuwenden. Es wäre jedoch leicht möglich, für solche Fälle die offen brennenden Grubenlichter durch geschlossene Laternen zu ersetzen.

Nothwendige Ventilationsgrösse nach Maassgabe der Luftbeschaffenheit.

Beim Abschiessen in dem Aufbruche werden ungefähr verwendet an 75procentigem Dynamit zu 6 Schüssen à 500 *gr* rund 3000 *gr*, gibt Nitroglycerin $0{,}75 \times 3000 = 2250$ *gr*.

Die unathembaren Explosionsgase sind:

Stickstoff 410 *gr*
Kohlensäure 1290 *gr*

Den Stickstoff kann man wiederum als unschädlich ansehen. Der Kohlensäuregehalt der Aufbruchsluft ist nun nach dem Abschiessen dem Gewichte nach 1,06 %, dem Volumen nach 1 %. Wird nun der Aufbruch während der Arbeitspause von einer Stunde mit 1,8 m^3 per Minute ventilirt, so ist nachher der Kohlensäuregehalt der Luft noch circa 0,5 %, was wenig unter der Grenze liegt, bei welcher es der Mensch überhaupt noch aushält. Es kamen in Folge dessen auch öfter Fälle von Ohnmacht bei den Arbeitern vor. Nach Pettenkofer soll eine „gute Luft" nicht mehr als 0,1 % Kohlensäure enthalten.

Während der Arbeitszeit macht sich nun auch der Einfluss der Menschen und Lampen geltend. Ein Mensch producirt per Stunde (nach Wöhler) 0,0135 m^3 Kohlensäure; gibt für acht Arbeiter 0,108 m^3. Eine Lampe producirt in derselben Zeit 0,035 m^3 (also ungefähr dreimal so viel als ein Mensch), gibt für drei Lampen 0,105 m^3 Kohlensäure. Die Gesammt-Kohlensäureproduction ist demnach $0{,}108 + 0{,}105 = 0{,}213$ m^3 per Stunde. Zieht man nun noch die nach dem Abschiessen und einstündiger Ventilation im Aufbruche verbliebene Kohlensäure mit in Rechnung, so erhält man für den Kohlensäuregehalt der Aufbruchsluft nach n Arbeitsstunden:

$$q = \frac{0{,}5 + 0{,}213\,n}{100 + Q\,n}$$

Setzen wir für unsern Fall $Q = 108$ m^3 pro Stunde ein, so ergibt sich für den Kohlensäuregehalt nach 5 Arbeitsstunden

$$q_{n=5} = 0{,}00242$$

Dabei haben wir den Kohlensäuregehalt der Aufbruchsluft vor dem Abschiessen vernachlässigt. Derselbe wird aber gerade ungefähr dem obigen Werthe von 0,00242 entsprechen und wir benutzen also denselben zu einer neuen Ermittlung. Wenn man ausserdem voraussetzt, dass in der Zeit zwischen dem Aufhören der Arbeit und dem Abschiessen, wo die meisten Arbeiter den Aufbruch verlassen haben, die Ventilation auch ausgiebiger wirkt, so ergibt die neue Berechnung für q die Werthe, welche im Diagramm Fig. 4 als Ordinaten aufgetragen sind. Die Abscissenlängen stellen dabei die Arbeitszeit dar. Die so entstehende Curve gibt ein Bild vom Wechsel des Kohlensäuregehaltes der Aufbruchsluft während der Arbeitszeit.

Bei grösserem Rauminhalt eines Aufbruches würde unsere Curve etwas flacher verlaufen, d. h. mit Rücksicht auf die Luft*beschaffenheit* ist (umgekehrt wie bei der Wärme) ein grösserer Arbeitsraum günstiger als ein kleinerer, indem die Explosionsgase sich darin auf ein grösseres Luftquantum vertheilen und so der Procentgehalt der Luft an Kohlensäure schon beim Beginn der Arbeitszeit ein mässiger sein kann. So lange man nicht mit sehr hohen Temperaturen zu thun hat, ist auch die Luft*beschaffenheit* der maassgebende Factor für die Ventilationsgrösse.

Wenn auch die vorstehenden Resultate bei Zugrundelegung anderer Verhältnisse Aenderungen erfahren müssten, so geben sie doch ein allgemeines Bild von der *relativen* Intensität, mit welcher verschiedene Ursachen die Lufttemperatur und Luftbeschaffenheit in einem Tunnel während des Baues beeinflussen. Sie dürften desshalb auch dazu geeignet sein, die Beurtheilung anderer, nicht zu sehr abweichender Verhältnisse zu erleichtern.

Die electrische Eisenbahn in Lichterfelde bei Berlin.

Mit 16 in den Text gedruckten Zeichnungen.

(Schluss.)

Als besondere Einrichtungen des electrischen Wagens sind zu erwähnen: die Construction einer electrischen Umsteuerung der Maschine (an der kleinen electrischen Ausstellungsbahn wurde die Fahrtrichtung der Locomotive nur durch mechanische Mittel umgesteuert), sowie eine besondere Vorrichtung, durch welche sowohl die Fahrgeschwindigkeit der Locomotive innerhalb gewisser Grenzen geregelt werden kann, als auch die nachtheiligen oft mit Funkenbildung in den Maschinen verbundenen Einwirkungen der plötzlichen Stromunterbrechung vermieden werden.

Bei der Projectirung wurde auch der im Vorstehenden bereits erwähnte Fall vorgesehen, dass die genügende Isolirung der auf dem Boden liegenden Schiene innerhalb der Strassen nicht erreichbar wäre und wurde für diesen Fall die Führung der Leitung auf Säulen angeordnet, wie dies in den Fig. 15 und 16 dargestellt ist. Die Ausrüstung des Wagens bleibt dieselbe und es erfolgt die Stromzuleitung durch einen über ein ausgespanntes Seil laufenden Contactwagen.

Der electrische Wagen in Lichterfelde macht seine Touren im regelmässigen Anschlusse an die sämmtlichen Personenzüge der Anhalter Bahn; er soll mit der concessionell zulässigen Geschwindigkeit von ca. 20 *km* fahren. Er kann jedoch 35—40 *km* Geschwindigkeit in der horizontalen und geraden Strecke bei voller Besetzung des Wagens mit 26 Personen (4800 *kg* Totalgewicht) erreichen, wenn bei normalem Gange der Dampfmaschine Nichts zur Mässigung der Geschwindigkeit geschieht. — Die Locomotivmaschine dürfte hierbei bei einem Eigengewicht von ca. 500 *kg* 5½ Pferdekräfte entwickeln.

Die Lichterfelder Bahn ist am 16. Mai cr. dem Betriebe übergeben und hat seit dieser Zeit ohne wesentliche Störung mit grösster Regelmässigkeit ihren Dienst gethan. Es hat sich bereits eine Gesellschaft gebildet, um eine Ausdehnung derselben bis zum Mittelpunkte des Dorfes Lichterfelde und zum Steglitzer Bahnhofe der Potsdamer Eisenbahn herbeizuführen. Die Firma Siemens & Halske ist ferner gegenwärtig mit der Einführung des electrischen Betriebes der Pferdebahnwagen von Charlottenburg bis zum Spandauer Bock beschäftigt, bei welchem die Seilbahnleitung zur Verwendung kommen wird.

Des Interesses halber, welches die Dampfmaschine: System Dolgorouki für die Entwickelung der electrischen Beförderung wohl haben wird, geben wir nachstehend einen Auszug eines in dem *Ver. zur Beförd. des Gewerbfl.* gehaltenen Vortrages des Herrn Dr. Slady über diese Maschine.

Die Maschine wird gebildet durch die gusseiserne Kapsel von doppelcylindrischer Form, auf einem Fundamentrahmen befestigt. Sie hat zwei Flantschen, gegen welche die Deckel geschraubt werden; zwischen dem Deckel und den Flantschen der Kapsel sind Platten eingeschraubt, welche mit seitlichen Ansätzen die Kolben übergreifen und durch eine einfache Vorrichtung eine Expansionswirkung in der Maschine ermöglichen. Der innere Raum der Kapsel ist durch eine verticale Scheidewand getheilt, so dass zwei gleiche getrennte Räume entstehen, deren jeder zur Aufnahme einer einzelnen Maschine mit zwei Kolben bestimmt ist, so dass wir also eine Zwillingsmaschine vor uns haben, bei der die Kolben um 180^0 verstellt sind.