Versuche mit Gasmaschinen

Autor(en): **Fliegner, Albert**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **7/8 (1886)**

Heft 12

PDF erstellt am: **23.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-13607

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Versuche mit Gasmaschinen. Von Alb. Fliegner, Professor am eidg. Polytechnikum. (Schluss.) — Ein neues Alpenbahn-Project. — Preisbewerbung für ein Denkmal zur Erinnerung an den 500jährigen Gedenktag der Schlacht bei Sempach. (Mit einer Tafel.) — Patentliste. — Miscellanea: Eidg. Polytechnikum. Verzeichnung der Baudenkmäler im Grossherzogthum Baden. Conservator der preussischen Kunstdenkmäler. — Concurrenzen: Sempacher-Denkmal. Denkmal für General Robert Lee in Richmond. — Necrologie: † Rudolf Klostermann. — Vereinsnachrichten. Stellenvermittelung.

Hiezu eine Beilage: Sempacher-Denkmal. Entwurf von Hirsbrunner & Baumgart, Architecten zu Bern.

Versuche mit Gasmaschinen.

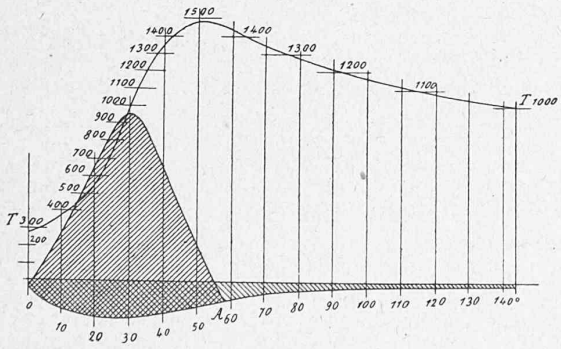
Von *Albert Fliegner*, Professor der theoretischen Maschinenlehre am eidgenössischen Polytechnikum.

(Schluss.)

Es lässt sich noch von einer anderen Seite her ein Schluss auf die Vollständigkeit der Verbrennung des Methans ziehen, und zwar durch eine eingehendere Untersuchung der *Wärmeübergänge während der Explosions- und Expansionsperiode.* Man kann diese Wärmeübergänge in Function des Kolbenweges durch die äquivalente Arbeitsfläche darstellen, erhält aber dabei eine Curve, deren Ordinaten gegenüber denjenigen des Indicatordiagrammes sehr gross werden, am Anfang sogar oft unendlich. Auch eine andere bekannte rein graphische Methode, mit Benutzung der adiabatischen und isodynamischen Curven, liefert sehr schleifende Schnitte und erfordert verhältnissmässig viel Platz. Keine dieser Methoden lässt aber den sehr wesentlichen Einfluss der *Zeit* erkennen. Es erscheint daher zweckmässiger, *die Wärmeübergänge in Function der Zeit*, oder, unter Voraussetzung einer gleichförmigen Rotation, *in Function des Drehwinkels der Kurbel* darzustellen. Dabei ist es aber zulässig, zur Vereinfachung der Untersuchung die Kurbelstange unendlich lang vorauszusetzen. Ebenso kann die geringe Aenderung der Constanten R der Zustandsgleichung während des chemischen Processes unberücksichtigt bleiben.

Zur Darstellung der Curve $Q = f(t)$ wurde zunächst für eine grössere Anzahl von Intervallen der Wärmeübergang aus dem Indicatordiagramm nach Glchg. (11) berechnet. Diese Werthe, durch den zugehörigen Drehwinkel der Kurbel dividirt, ergeben den mittleren Wärmeübergang auf den einzelnen Strecken. Trägt man den letzteren in Function des Drehwinkels auf, so erhält man zunächst einen staffelförmig verlaufenden Linienzug. Derselbe lässt sich dann durch eine continuirliche Curve ersetzen, wobei auch die bei solchen graphischen Interpolationen nicht zu vermeidenden Ungenauigkeiten ausgeglichen werden können und müssen. Auf diesem Wege wurde die obere der beiden

Fig. 8.



in Fig. 8 dargestellten, die schraffirten Flächen begrenzenden, Curven erhalten. Ihr Verlauf wurde so interpolirt, dass sie am Anfang eine *negative* Ordinate hat, weil am Ende der Compression, wie aus einer analogen Untersuchung dieser Periode folgt, eine Wärmeentziehung stattfindet; der absolute Werth der Anfangsordinate ist allerdings aus dem vorhandenen Beobachtungsmaterial nicht mit Sicherheit bestimmbar, aber auch ohne wesentlichen Einfluss. In Folge der Explosion geht diese anfängliche Wärmeentziehung sehr rasch in eine bedeutende Wärmemittheilung über. Letztere nimmt aber bald wieder ab, um bei einem Drehwinkel von etwa 55°, entsprechend ungefähr 21 % des Kolbenweges, neuerdings einer Wärmeentziehung Platz zu machen, welche dann mit wechselnder Intensität bis zum Ende der Expansionsperiode anhält. Die genaue Interpolation dieser Curve in der Gegend ihres Minimums kann erst nachher besprochen werden.

Die bisher untersuchten Wärmeübergänge beziehen sich lediglich auf den gasförmigen Inhalt des Cylinders, nehmen aber auf die *Ursachen* der Wärmebewegung keine Rücksicht. Die Entziehung wird natürlich durch die Cylinderwandungen hervorgerufen. Da die letzteren aber während der ganzen Zeit der Explosion und der Expansion kälter sind, als die arbeitenden Gase, sonst würde die Wärmeentziehung nicht bis ans Ende andauern können, so muss auch während dieser *ganzen* Zeit Wärme von den Gasen an die Wandungen übergehen. Die Temperatur im Inneren steigt dabei rasch, um nach Ueberschreitung eines Maximums langsamer wieder abzunehmen; s. in Fig. 8 die mit T bezeichnete Curve. Der Wärmeübergang in gleichen Zeiten wächst nun mit der Temperaturdifferenz und allerdings auch mit der Grösse der sich berührenden Oberflächen. Da aber durch den grossen schädlichen Raum schon eine verhältnissmässig bedeutende anfängliche Oberfläche vorhanden ist, so wird ihr Einfluss mehr zurücktreten und namentlich derjenige der Temperaturen massgebend sein. Die von den Cylinderwandungen aufgenommene Wärmemenge muss sich daher im Wesentlichen folgendermassen auf die Zeit vertheilen:

In Folge der anfänglich immer rascher verlaufenden Temperaturzunahme müssen die Wandungen zunächst immer mehr Wärme aufnehmen. Sie erwärmen sich daher auch immer mehr. Da die Temperaturcurve bei einem Drehwinkel von etwa 30° einen Wendepunkt besitzt, so muss die Wärmeentziehung in dieser Gegend ihr Maximum erreichen, während umgekehrt in der Nähe des Maximums der Temperatur die Wärmecurve einen Wendepunkt haben muss. Bei der weiteren ziemlich langsamen Temperaturabnahme wird auch die Temperaturdifferenz immer kleiner werden, die Wärmecurve sich also immer mehr der horizontalen Achse nähern. Da aber, wie aus dem Indicatordiagramm folgt, die Wärmeentziehung bis zum Ende der Periode fortdauert, so können die Ordinaten dieser Curve niemals negativ werden.

Zeichnet man diese Curve der Wärmeaufnahme seitens der Cylinderwandungen auf der *unteren* Seite der horizontalen Achse ein, so gibt die Fläche zwischen ihr und der früheren Wärmecurve die durch den Verbrennungsprocess im Ganzen frei werdende Wärmemenge, also zunächst unter der Annahme, dass alles Methan verbrennt, pro Spiel 3,703 Cal. Und da durch den chemischen Vorgang nur Wärme producirt, aber keine absorbirt wird, so muss diese neue Curve ganz unterhalb der alten liegen, oder darf höchstens streckenweise mit ihr zusammenfallen, dagegen darf sie nie über dieselbe steigen. Endlich ist es mit Rücksicht auf den Verlauf der Temperaturen selbstverständlich, dass das Maximum der an die Wandungen übergehenden Wärmemenge *erheblich* grösser sein muss, als der Betrag am Ende der Expansion.

Da keine weiteren Anhaltepunkte für den Verlauf dieser Curve angegeben werden können, so bleibt ihre Einzeichnung allerdings noch ziemlich willkürlich. Wenn man aber alle aufgestellten Bedingungen erfüllen will, so erscheint es am richtigsten, sie von einer Gestalt vorauszusetzen, wie sie die untere Curve in Fig. 8 zeigt, namentlich also so, dass sie von etwa 60° Drehwinkel an mit der vorigen Curve zusammenfällt. In dieser Figur sind die betreffenden Flächen im richtigen gegenseitigen Grössenverhältniss gezeichnet, und es bedeutet die von rechts oben nach links unten schraffirte Fläche die durch die Verbrennung verfügbar werdende Wärmemenge, während die an die Wandungen abgegebene Wärme durch die von links

oben nach rechts unten schraffirte Fläche dargestellt ist. Die einfach schraffirten Flächentheile zu beiden Seiten der horizontalen Achse entsprechen dem Wärmeaustausch des im Cylinder arbeitenden Gasgemenges. Ob sich die beiden Curven in dem mit *A* bezeichneten Punkte wirklich schneiden, oder ob die obere tangirend in die untere übergeht, lässt sich nicht entscheiden, ist aber auch unwesentlich.

Die der Fig. 8 zu Grunde gelegten numerischen Werthe entsprechen der Annahme, dass alles Methan am Verbrennungsprocesse Theil nimmt. Würde man unverbranntes Methan voraussetzen, so würde sich, wie Post 25 der Tabelle II zeigt, die obere Curve nur sehr wenig verschieben, aber genau *proportional*. Die durch die Explosion verfügbare Wärmemenge würde dagegen *bedeutend kleiner* werden; die untere Curve müsste also verhältnissmässig stark hinaufrücken. Da aber der Punkt *A* aus dem Indicatordiagramm bestimmt, also ziemlich fest liegt, er würde sogar etwas sinken, so würde es sehr bald unmöglich werden, die untere Curve so zu interpoliren, dass sie allen für sie gefundenen Bedingungen wirklich genügt. Für grösseren Methangehalt der abziehenden Gase würde sie sogar, wie eine Vergleichung der Posten 25 und 28 sofort zeigt, über die horizontale Achse steigen; man müsste dann während der Explosion und Expansion noch eine Wärmemittheilung von aussen her voraussetzen! Es zeigt sich also auch hiernach nothwendig, anzunehmen, dass fast alles Methan verbrennt.

Zu demselben Schlusse gelangt man endlich, wenn man das Verhältniss zwischen Gas und Luft betrachtet; Post 1 der Tabelle II. Für $M = o$ erfordert jedes Kilogramm Gas 13,423 *kg* Luft, das gibt dem *Volumen* nach eine 6,262 fache Luftmenge. Mit wachsendem *M* sinkt dieser Werth rasch. Nun ist schon 6,262 erheblich weniger, als man bisher ziemlich allgemein annahm, dagegen stimmt der Werth gut mit neueren amerikanischen Beobachtungen.

Alle diese Gründe berechtigen entschieden zu der Annahme, dass bei den Gasmaschinen dieser Art jedenfalls nur sehr wenig, wahrscheinlich **gar kein Methan unverbrannt entweicht.**

Die Verbrennung ist aber doch keine vollkommene. Es bleibt ein bedeutender Rückstand an unverbranntem Kohlenstoff, für $M = o$ nach Post 7 mehr als die Hälfte des ganzen Kohlenstoffgehaltes des Gases. Da man stündlich pro Pferdestärke etwa 1 m^3 oder rund $^1/_2$ *kg* Gas rechnen kann, so würden sich stündlich pro Pferdestärke rund 150 *gr* Russ abscheiden. Man muss annehmen, dass der grösste Theil dieses Russes durch die abziehenden Gase mit fortgerissen wird, denn so bedeutend sind die Russablagerungen im Cylinder nicht. Diese unerwartet grosse Russmenge war Veranlassung, dass auch ein anderes, weniger Kohlenstoff enthaltendes Gas probeweise untersucht wurde. Die Resultate erfuhren dadurch aber keinerlei wesentliche Aenderung.

Die vorstehend mitgetheilten Versuche gestatten auch eine Discussion der Frage nach dem sogenannten *„Nachbrennen"*. Bekanntlich wird ziemlich allgemein angenommen, dass der chemische Process zwar seinem grössten Theile nach sich bald nach erfolgter Zündung abspielt, dass aber doch ein, und zwar der kleinere, Theil der Verbrennung erst im Verlaufe der eigentlichen Expansion vor sich geht. Es sind drei Erklärungsversuche für eine solche anfangs rasche, später langsame Verbrennung aufgestellt worden: Dissociation, schichtenweise Lagerung des in seinem ganzen Inneren nicht homogenen explosiven Gemenges und Verlangsamung in Folge der Beimischung indifferenter Gase bei sonst ziemlich homogener Mischung.

Werden die Temperaturen für eine Anzahl von Punkten der Explosions- und Expansionscurve berechnet, so finden sich als *höchste* im ganzen Process erreichte Werthe die in Post 23 angegebenen. Das Maximum liegt an der im Diagramm Fig. 7 mit 1 bezeichneten Stelle. Diese Temperaturen ergeben sich, auch für den unwahrscheinlichen Fall bedeutenderer unverbrannter Methanmengen, niedriger, als die Dissociations-Temperaturen. Diese erste Annahme wäre hiernach ausgeschlossen.

Der zweite Erklärungsversuch setzt voraus, dass sich die Gase beim Einströmen *schichtenweise* anordnen: die stärker mit Leuchtgas gesättigten näher am Boden des Cylinders, also an der Einmündungsstelle des Zündcanals, die mit indifferenten Bestandtheilen, namentlich den Rückständen vom vorangegangenen Spiele mehr verdünnten, näher am Kolben. Je stärker die Verdünnung, desto langsamer die Verbrennung. Diese Annahme dürfte aber doch wol vom mechanischen Standpunkte aus kaum haltbar sein. Da sich die Einmündung des Zündcanals in den Cylinder bei beiden untersuchten Maschinenarten in der Mitte des Bodens des Cylinders befindet, so muss das angesaugte und mit ziemlicher Geschwindigkeit ankommende Gemenge von Gas und Luft beim Einströmen einen divergenten Ausbreitungs-Conus bilden, der dem fortschreitenden Kolben folgt. Zunächst durch Reibung am Umfange des Conus, dann durch die bei solchen Verlangsamungen stets mit auftretenden Rückströmungen ausserhalb, beginnt sofort eine Vermischung mit den Rückständen. Dieselbe wird in der Compressionsperiode noch fortschreiten, so dass das Gemenge im Augenblicke der Zündung jedenfalls schon ziemlich homogen geworden ist.

In einem homogenen Gemenge endlich würden die indifferenten Beimengungen allerdings eine Verlangsamung des Processes zur Folge haben, aber nur in der Art, dass die Ausbreitung der Flamme von Anfang an eine langsamere ist. Es wird die Annahme gestattet sein, dass sich die Flamme angenähert in concentrischen Kugelflächen fortpflanzt, deren Mittelpunkt in der Gegend der Einmündung des Zündcanals zu suchen sein würde. Dann müsste die in gleichen Zeiten producirte Wärme anfangs rasch zunehmen, bis die Kugeloberflächen die Cylinderwandungen getroffen haben, darauf würde sie angenähert constant bleiben, bis die Flamme den Kolben erreicht hat, um schliesslich rasch abzunehmen. Das wäre also eine langsamere, nicht ganz gleichförmige Verbrennung, aber kein Nachbrennen in dem vorhin angegebenen Sinne.

Sucht man nun auf Grund der in Tabelle II enthaltenen Angaben und der Fig. 8 einen Schluss auf das Nachbrennen zu ziehen, so zeigt sich in erster Linie, dass es *gar nicht nöthig* ist, ein solches anzunehmen. Die bei jedem Spiel verfügbar werdende Wärmemenge ist nur so wenig grösser, als die bei der Explosion und am Anfang der Expansion an den Cylinderinhalt mitzutheilende, dass der Ueberschuss bei den grossen Temperaturdifferenzen ganz wol an die Wandungen abgegeben sein kann. Allerdings wäre es nicht unmöglich gewesen, die untere Curve in Fig. 8 so zu interpoliren, dass sie auf ihrer ganzen Länge, also auch rechts von *A*, unterhalb der oberen verlaufen wäre. Das würde dann einem Nachbrennen entsprechen. Da aber der Punkt *A* als gegeben anzusehen ist, so würde das Maximum des Wärmeüberganges an die Wandungen nach Lage und Grösse doch in unwahrscheinlicher Weise verschoben werden müssen. Es erscheint hiernach als das richtigste, anzunehmen, dass überhaupt **gar kein Nachbrennen vorhanden ist.**

Der chemische Process scheint vielmehr zu verlaufen, wie er oben für ein durch indifferente Bestandtheile verdünntes explosives Gemenge vorausgesetzt wurde, nur mit einem eigentlichen Maximum der Wärmeproduction. Bei einem Drehwinkel der Kurbel von noch nicht ganz 60°, also ungefähr im ersten Viertel des Kolbenhubes, oder bei der untersuchten Maschine nach etwa $^1/_{18}$ Secunden, kann die Verbrennung als vollständig abgeschlossen angesehen werden.

Wenn die vorstehenden Untersuchungen auch durchaus keinen Anspruch auf eine endgültige Erledigung der behandelten Fragen erheben wollen, so machen sie doch, um die Ergebnisse noch einmal kurz zusammenzufassen, folgende Schlüsse über die Verbrennung in den Gasmaschinen mit Compression sehr wahrscheinlich: Es ziehen keine unverbrannten gasförmigen Bestandtheile mit fort. Dagegen scheidet sich ungefähr die Hälfte des Kohlenstoffgehaltes als Russ ab. Dadurch wird die Heizkraft um etwa 25 % reducirt, so dass die Wärmebilanz auch ohne Annahme des

doch schwer erklärbaren Nachbrennens vollkommen befriedigend stimmt. Letzteres findet daher jedenfalls gar nicht statt.

Zürich, Januar 1886.

Ein neues Alpenbahn-Project.

Die Zahl der Alpenbahn-Projecte hat sich wieder um eine Einheit vergrössert! Neben den bündnerischen Alpenübergängen, dem hart angefochtenen Mont-Blanc-Projecte, den Vorschlägen von Baron von Vautheleret für die Ueberschienung des Grossen St. Bernhard, dem Chariot des Oberst de Bange, den zahlreichen Varianten für die Durchtunnelung des Simplon von Oberingenieur Jean Meyer tritt Ingenieur Roman Abt in Bünzen (Ct. Aargau) mit einem neuen, eigenartigen Entwurf, der bestimmt zu sein scheint, Aufsehen zu erregen, in den Vordergrund. Herr Abt will die Endstation der Simplon-Bahn, Brieg, mit Airolo verbinden und dadurch der Gotthardbahn anstatt eines Concurrenten eine neue Verkehrsader schaffen. Dabei bleibt er mit seiner Bahn im Lande, verhilft dem Oberwallis und dem Bedretto-Thal zu einer Eisenbahn-Verbindung, verschafft der Schweiz eine wichtige strategische Linie und dies Alles zu einem Preis, der weit niedriger angesetzt ist, als jedes der genannten Projecte.

Herr Abt hat sein Project in einer hübsch ausgestatteten Broschüre beschrieben, durch Lageplan und Längenprofil dargestellt und dieses Werk dem schweizerischen Bundersrath als Denkschrift vorgelegt. *)

Es sei uns gestattet, aus dieser Broschüre einen gedrängten Auszug zu geben:

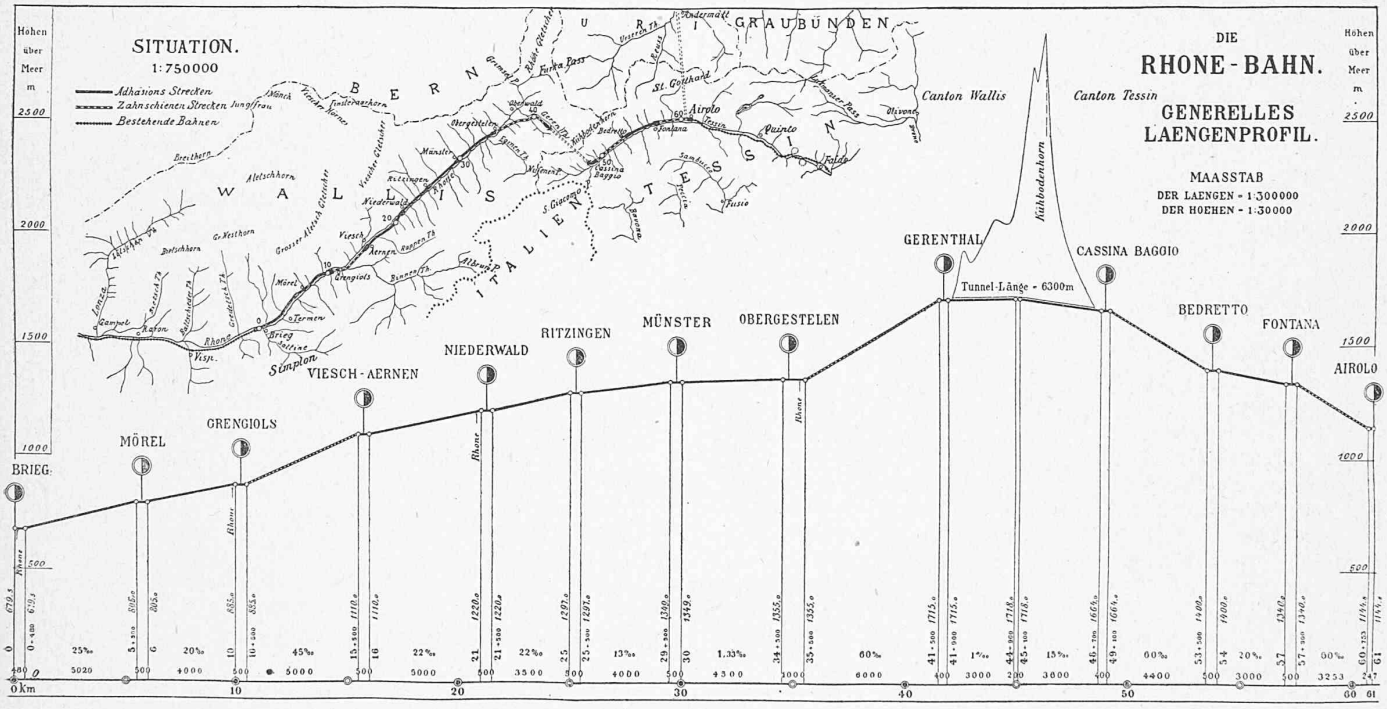
Beschreibung des Projectes. Die Bahn verlässt die Station Brieg auf der Höhe von 679,5 *m* und folgt auf 35 *km* Länge dem Laufe der Rhone bis Obergestelen. Zur Ersteigung der Thalstufe bei Grengiols ist eine Zahnschienen-Rampe von 5 *km* Länge mit 45 ‰ Steigung eingelegt. Der übrige Theil dieser Strecke ist reine Adhäsionsbahn mit 25 ‰ Maximal-Steigung. — Bei Obergestelen wird die Rhone überschritten und das linkseitige Gehänge, sowie der Eintritt in das Gerenthal, mit einer Zahnschienen-Rampe von 6 *km* und 60 ‰ Steigung gewonnen. — Der Alpentunnel beginnt im Gerenthal auf einer Höhe von 1715,0 *m* und führt mit 6,3 *km* Länge unter dem Kühbodenhorn hindurch. Sein nördliches Gefäll beträgt 1 ‰, sein südliches 15 ‰. Das Gebirge besteht hier aus dem besten Granit des Gotthard-Massivs, so dass Herr Abt annimmt, es sei keine Mauerung nöthig. Vom südlichen Tunnel-Ausgang auf 1664,0 *m* Höhe zieht sich die Bahn am linkseitigen Ufer des Tessins durch das Bedretto-Thal und erreicht die Station Airolo auf der Höhe von 1144,8 *m*. Diese Strecke enthält zwei Zahnschienen-Rampen von 7,65 *km* Gesammtlänge und 60 ‰ Gefäll. Das dazwischen liegende 3 *km* lange Stück ist reine Adhäsionsbahn mit 20 ‰ Gefäll. Die ganze Bahnlänge beträgt 61 *km*.

Leistungsfähigkeit. Für den Bau und Betrieb der Bahn schlägt Herr Abt sein, den Lesern dieser Zeitung bekanntes Specialsystem vor, das im Harz und bei Lehesten in Sachsen-Meiningen bereits im Betriebe steht und, soviel wir erfahren konnten, sich bewährt hat. Ein Vortheil desselben ist die Möglichkeit, das gesammte Betriebsmaterial der europäischen Normalbahnen über die Zahnschienenstrecken ebenso ungehindert circuliren zu lassen, wie auf jeder anderen Normalbahn.

Die Eigenthümlichkeiten des Systemes sind:

1. Die Zulässigkeit grösserer Steigungsverhältnisse, als es die nach dem reinen Adhäsionsprincip betriebenen Gebirgsbahnen aufweisen;
2. Die Einlage einer Zahnschiene, welche mit dem officiellen Profil des Fahrmaterials in keine Collision geräth;
3. Die Verwendung von Locomotiven, welche jederzeit als gewöhnliche Adhäsionsmaschinen gute Dienste leisten, ausserdem aber in Folge specieller Construction auf den grösseren mit Zahnschiene ausgerüsteten Steigungen ihre natürliche Adhäsion mit zwei Zahntriebrädern unterstützen.

Herr Abt berechnet den zu erwartenden jährlichen Verkehr zu 650 000 *t* Bruttolast exclusive Locomotiven. Im Durchschnitt würde er 1750 *t*, im Maximum 3500 *t* pro Tag betragen. Zur Bewältigung desselben würden in jeder Richtung 8 bis 10, im Maximum 15 einfache Züge genügen. Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, dass bei stärkstem Ver-



*) Die Rhone-Bahn. Ein Beitrag zur Lösung der Simplon-Frage. Denkschrift, dem schweizerischen Bundesrath vorgelegt von Roman Abt, Ingenieur in Bünzen. März 1886. Druck der Stahel'schen Buchdruckerei in Würzburg.