

**Zeitschrift:** Die Eisenbahn = Le chemin de fer  
**Herausgeber:** A. Waldner  
**Band:** 6/7 (1877)  
**Heft:** 17

**Artikel:** Die Mittel zur Überwindung grosser Höhenunterschiede bei Eisenbahnen und der Einfluss starker Steigungen auf den Betrieb  
**Autor:** Abt, R.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1092339>

### **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:** 17.02.2026

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

INHALT. — Fortsetzung des Protocolls der XXVII. Jahres-Versammlung in Zürich des Schweizerischen Ingenieur- und Architekten-Vereins. Montag den 1. October 1877. Fachversammlung der Ingenieure und Maschinen-Ingenieure. Vortrag des Herrn Maschineningenieur R. Abt über die Mittel zur Ueberwindung grosser Höhenunterschiede bei Eisenbahnen und der Einfluss starker Steigungen auf den Betrieb. (Mit 2 Tafeln als Beilage). — Ueber eine praktische Form des Haar-Hygrometers, von Dr. C. Koppé. 1. Erklärung des Principes des Haar-Hygrometers. — Die neuesten Terraineinsenkungen in Horgen. — Accidents de Chemins de fer. — Vereinsnachrichten. Technischer Verein in Winterthur. — Kleinere Mittheilungen. — Eisenpreise in England, mitgetheilt von Herrn Ernst Arbenz.

TECHNISCHE BEILAGEN. — Tafel I. Darstellung der Widerstandsflächen bei der Adhäsionsbahn am Uetliberg und Zahnradbahn Rorschach-Heiden. Tafel II. Graphische Darstellung der Leistungsfähigkeit der Adhäsionslocomotive am Uetliberg u. der Zahnradlocomotive von Rorschach-Heiden.

Fortsetzung des Protocolls  
der  
**XXVII. Jahres - Versammlung in Zürich**  
des  
*Schweizerischen Ingenieur- und Architekten - Vereins.*  
Montag den 1. October 1877.  
**Fachversammlung**  
**der Ingenieure und Maschinen-Ingenieure.**  
**Die Mittel**  
zur Ueberwindung grosser Höhenunterschiede bei Eisenbahnen  
und  
der Einfluss starker Steigungen auf den Betrieb

Vortrag  
des  
Herrn R. Abt, Maschineningenieur in Aarau.  
(Mit 2 Tafeln als Beilage).

Die Eisenbahnen werden eingetheilt in:

Hauptbahnen, bestimmt für den Verkehr aller Länder und Fahrzeuge, in

Secundäre Bahnen, welche zwar mit den erstern in Verbindung stehen, dagegen ausser dem Bereich der grossen Verkehrsströme liegen, endlich in

Tertiäre, für sich allein bestehende Bahnen.

Namentlich auf den letzteren herrscht hinsichtlich Bau und Betrieb unbeschränkte Freiheit, weder bestimmte Lasten müssen befördert, noch Fahrzeiten eingehalten werden. Es können desshalb bei der Anlage solcher Bahnen Kunst und Natur beliebig zu Hülfe genommen werden, meistens ist es die Natur, welche ihrer Billigkeit wegen den Ausschlag gibt.

In den Bereich des heutigen Vortrages möchte ich hauptsächlich die Bahnen ersten und zweiten Ranges ziehen. Für diese sind die Betriebsmittel nach der Meinung mancher Leute freilich schnell genannt, es ist einzig die Adhäsion. — Die Theorie allein ist nun gerade in dieser Richtung schwerlich berechtigt so ohne Weiteres ein abschreckendes Urtheil zu fällen. Denn so wenig wie die Dampfmaschinen, Wassermotoren, Telegraphenapparate, Nähmaschinen und hundert andere herrliche Ideen, ebensowenig verdanken die Eisenbahnbetriebssysteme der Theorie ihre Entstehung und Berechtigung, sondern der Praxis. Diese ist es, welche bei oft schweren Opfern die Resultate und Coefficienten liefert, um welche die Theorie erst nachträglich mit Differential und Integral ihren Schleier webt. — Trotzdem möchte ich die Theorie nicht unterschätzen, sie ist und bleibt die geistige Krone, die Marmorstatue auf dem Piedestal der Praxis, doch je höher diese, desto höher auch jene, beide steigen und fallen mit einander.

Die Mittel zur Ueberwindung grosser Höhenunterschiede bei Eisenbahnen, theilen sich in solche  
mit festem und solche  
mit beweglichem Motor.

Zu den ersten rechnet man jene, welche die an einer festen Stelle entwickelte Kraft auf einen sich bewegenden Wagenzug übertragen. Es gehören hieher:

Die atmosphärischen Bahnen. Bei denselben wird in einer Röhre ausserhalb des Wagenzuges die Luft verdünnt oder verdichtet und mit der Druckdifferenz der Zug befördert.

Wird die Röhre so gross genommen, dass der ganze Wagen-

zug darin Platz findet, so bezeichnet man solche Bahnen als pneumatische.

Weiter zählen hieher sämtliche Seilbahnen.

Dabei lassen sich unterscheiden:

Bahnen mit einfachem Seil, wie z. B. eine solche zwischen Lausanne-Ouchy seit einem halben Jahre im Betriebe steht. Auf der Höhe der Seilrampe befindet sich der Motor, welcher eine Trommel bewegt, um die das Seil geschlungen ist, an dessen jedem Ende ein Wagenzug hängt. Diese Anordnung erfordert eine doppelte Anlage der Bahn, dagegen hilft stets der absteigende Zug den aufsteigenden ziehen, so dass der Motor bloss die Differenz der Zugwiderstände zu überwinden hat.

Bahnen mit Seil ohne Ende, wie sie besonders Maus ausgebildet hat, bieten den Vortheil, dass die auf- und niedersteigenden Züge von einander unabhängig sind. Die Thalfahrt wird ausschliesslich unter Anwendung der Bremsmittel eines Zuges ausgeführt, für die Bergfahrt hängt sich der Zug mit einer Zange an das aufsteigende Seil.

Das am meisten entwickelte Seilbahnsystem ist jenes von Senator Agudio, dasselbe erfordert zwei endlose und ein einfaches Seil, sowie zwei Motoren, je einen am Ende der Rampe. Von den endlosen, auch Triebseile genannt, arbeitet das eine auf, das andere abwärts. Jedes ist um je ein Rollenpaar eines Locomotors geschlungen und versetzt dasselbe in rasche Drehung. Die Achsen dieser beiden Rollenpaare tragen theils Zahn- theils Frictionsräder, welche die empfangene Bewegung auf ein drittes Rollenpaar überpflanzen, um welches das einfache oder Schleppseil geschlungen ist. Dasselbe ist auf der Höhe der Seilrampe befestigt, und wird unten durch einen Wagen, der eine spezielle Bahn besitzt, angespannt, um jederzeit die erforderliche Adhäsion zu den Rollen zu sichern.

Als allgemeine Vortheile der Systeme der ganzen Gruppe ist hervorzuheben, dass sozusagen kein todes Gewicht des Motors befördert werden muss und allfällig vorhandene Wasserkräfte benutzt werden können, sich somit die Zugkraftkosten ganz billig stellen. Als Nachteile muss die begrenzte Beweglichkeit hervorgehoben werden. Ein Rangiren auf Bahnhöfen ist mit einem dieser Systeme schwer ausführbar und müsste deshalb das gewöhnliche Locomotivsystem stets zu Hülfe genommen werden. Ausserdem ist die Sicherheit keine zuverlässige. Sie kann dagegen durch Anwendung von speciellen Bremswagen erzielt werden, namentlich bei gleichzeitiger Anbringung einer Zahnstange, wie z. B. Agudio vorgeschlagen hat. Schliesslich stehen häufige Betriebsstörungen zu befürchten.

Specielle Nachteile bietet das atmosphärische System durch die schwierige Abdichtung der Röhre, in Folge dessen grosse Arbeitsverluste eintreten und den Betrieb vertheuern. Bei Anwendung des pneumatischen Systems ist der gesammte Betrieb auf Tunnel angewiesen, was gerade bei Gebirgsübergängen nicht geringen Anstoss geben dürfte. Beide Luftsysteme erfordern grosse Summen für Einrichtung und Unterhalt, so dass sie mancherorts mit Vortheil durch gewöhnliche Locomotivbahnen ersetzt worden sind.

Alle Systeme mit festem Motor haben gegenwärtig noch zu wenig Praxis, um sichere Schlüsse ziehen zu können, oder es hat dann, wie z. B. bei den atmosphärischen Bahnen, die Praxis bewiesen, dass deren heutige Construction noch mit zu vielen Nachtheilen behaftet ist. Aus diesen Gründen glaube ich gegenwärtig noch keines dieser Systeme für Ueberwindung grosser Höhenunterschiede bei bedeutendern Bahnen in Betracht ziehen zu können.

Zu den Eisenbahnsystemen mit beweglichem Motor gehören:

das gewöhnliche Locomotivsystem mit natürlicher Adhäsion,  
System Fell,  
Wetli und das  
Zahnradsystem.

Fell gibt seinen Locomotiven ausser den Adhäsionsrädern noch 4 Frictionsräder, welche künstlich an eine Mittelschiene angepresst werden, es ist daher sein System ein gemischtes. Die Mittelschiene hat denselben Zweck, wie das

Schleppseil bei Agudio, nur ist ihr von Fell nicht der ganze Zug, sondern bloss ein Theil desselben zugeadacht, doch gerade dadurch sind dem Systeme bedeutende Nachtheile erwachsen. Denn durch das Anpressen der Frictionsräder an die Mittelschiene tritt leicht ein Entlasten der Adhäsionsräder ein, was unter Umständen sogar zu Entgleisungen Anlass geben kann. Allgemein aber ist ein genaues Zusammenarbeiten von Adhäsions- und Frictionsrädern nicht zu erreichen, da die letztern sich viel rascher abnutzen als die erstern und deshalb andere Wege zurücklegen, was Arbeitsverluste nach sich zieht. Wird diesem Nachtheil durch Anwendung von 4 Cylindern abgeholfen, so wird die Maschine theurer, complicirter und erfordert mehr Unterhaltung.

Wetli hat ebenfalls ein gemischtes System ausgebildet. Er benutzt ausser der natürlichen Adhäsion noch ein Schraubenrad. Die Combination hat sich leider vor kurzer Zeit als gefahrbringend herausgestellt und bedarf jedenfalls in constructiver Hinsicht etlicher Verbesserungen. Als bleibende Nachtheile möchte ich degegen bloss hervorheben:

Kostspieliger Oberbau, der beispielsweise gerade doppelt so theuer ist als derjenige des Zahnradsystems, sowie schwieriger und theurer Unterhalt desselben. Warum ich aber auch diese beiden Eisenbahnsysteme heute nicht weiter für Ueberwindung von Steilrampen berücksichtige, geschieht aus demselben Grunde, wie bei den vorigen: ihre Anwendung ist noch zu vereinzelt und ihre Vergangenheit noch zu kurz, um zu sichern Vergleichen zu dienen.

Das Zahnradsystem, das gegenwärtig in der Schweiz, in Oesterreich und Württemberg durch 8 Bahnen und mit 32 Locomotiven vertreten wird, ist durch die Erfolge und Betriebsergebnisse nicht im soeben erwähnten Falle und ich erlaube mir desshalb das Adhäsions- und Zahnradsystem als die gegenwärtig ausgebildeten Betriebssysteme für die Ueberwindung grosser Höhenunterschiede mit einander zu vergleichen. Meine Hauptaufgabe wird dabei sein Ihnen nachzuweisen, dass das Zahnradsystem schon in seiner heutigen Entwicklung für die fragliche Anwendung auch bei Hauptbahnen dem Adhäsionssystem wenigstens ebenbürtig, wenn nicht überlegen ist. — Habe ich der Einrichtung der andern Systeme gedacht, so mag die Construction der Zahnradlocomotiven hier ebenfalls kurz angedeutet werden.

Dieselben werden je nach ihrer Bestimmung als reine oder gemischte Maschinen ausgeführt. Die erstern können sich bloss auf der Zahnstange bewegen und eignen sich daher vorzüglich für tertiäre Bahnen. Sie zeichnen sich durch ganz geringes Gewicht aus. Die Locomotiven gemischten Systems, welche bis anhin gebaut wurden, arbeiten auf der Ebene und bis auf Steigungen von 25 ‰ mit der natürlichen Adhäsion, auf den höhern Steigungen mit Adhäsion und mit dem Zahnrade. In Zukunft soll diese Construction, welche zwar nichts Betriebsgefährliches enthält, durch eine vollkommenere ersetzt werden, darin bestehend, dass auf der Ebene nur die Adhäsion, auf der Zahnstange nur das Zahnrad arbeitet. Eine schematische Darstellung einer solchen Zahnradlocomotive finden Sie in der gegenwärtigen Ausstellung der Züricherischen Section. Die Maschinen aller Constructionen besitzen die Eigenthümlichkeit, dass einer Umdrehung der Kurbelwelle nur eine halbe oder eine Dritteldrehung des Triebbrades entspricht, was ermöglicht, die Dampfmaschine sehr rasch laufen zu lassen und daher auch kleiner und leichter zu halten. Was die Maschine als solche, sowie den ihr eigenen Oberbau anbelangt, ist derselbe in allen Theilen den Normalien der gewöhnlichen Bahnen angepasst, so dass deren Betriebsmaterial ohne den geringsten Anstand zur Verwendung gelangen kann.

Die Leistung eines jeden Locomotivsystems besteht in der Ueberwindung eines vorhandenen Widerstandes. Derselbe rührt her:

- von der Steigung,
- von der Reibung der Achsenschenkel,
- von der rollenden Reibung der Räder,
- von der Reibung der Spurkränze an den Schienen und von den Schienenstössen.

Der eine Theil dieser Widerstände  $a$  ändert sich bloss in Folge Krümmung der Bahn, der andere  $b$  ist ausserdem pro-

portional der Geschwindigkeit  $v$ . Wenn ausserdem  $x$  die Steigung und  $k$  jenen Coefficienten bedeutet, um welchen die Widerstände  $a$  und  $b$  in einer gegebenen Curve zunehmen, so lässt sich der gesammte Widerstand einer Tonne für den practischen Gebrauch ausdrücken durch die Formel:

$$(a + b v) k + x.$$

Nach den von Dieudonné, Guebhard und Vuillemin angestellten Versuchen, darf gesetzt werden

$$a = 0,0017$$

$$b = 0,00008 \text{ (für Güterzug)}$$

$k = 1,0$	für Gerade und Curven von über 800 <sup>m</sup> / <sub>Radius</sub> ,
$= 1,3$	" Curven von 600 <sup>m</sup> / <sub>Radius</sub>
$= 1,9$	" " " 400 "
$= 2,25$	" " " 306 "
$= 2,5$	" " " 250 "
$= 2,8$	" " " 200 "

Auf beiliegender Tafel I ist in den Fig. 1–6 der Widerstand einer Tonne Last dargestellt, herrührend von den Steigungen 6 bis 1 ‰. Die Fig. 7–12 repräsentiren die Reibungswiderstände  $(a + b v) k$  in der Geraden und in Curven von 600, 400, 300, 250 und 200 <sup>m</sup>/<sub>Radius</sub>, bei einer Geschwindigkeit des Zuges von 8 Kilometer in der Zeitstunde. Die Fig. 7, 13, 14 und 15 bedeuten die Reibungswiderstände bei Geschwindigkeiten von 8, 15, 25 und 40 Kilometer. Alle übrigen Flächen stellen die respectiven Combinationen zwischen Curven und Schnelligkeit dar.

Aus dieser schematischen Darstellung ist allgemein zu folgern, dass die Zugwiderstände um so kleiner ausfallen, je ebener die Bahn, je grösser die Radien der vorhandenen Curven und je langsamer gefahren wird; als beispielweise Anwendung wurde in den Fig. 16 und 17 der Gesamtwiderstand einer Tonne Last einmal für die Rorschach-Heiden-, das andere Mal für die Uetlibergbahn graphisch dargestellt, und schliesslich die beiden Flächen auf gleiche Basis reduziert, um eine leichte Vergleichung zu ermöglichen. Für eine derartige Vergleichung eignen sich die beiden Bahnen vorzüglich, da die erstiegene Höhe nahezu dieselbe ist, nämlich 390 <sup>m</sup>/<sub>bei Rorschach-Heiden</sub>, 399 <sup>m</sup>/<sub>am Uetliberg</sub>. Wenn nun wie aus Fig. 16 entnommen werden kann, der mittlere Widerstand für eine Tonne Last auf letzterer Bahn 84,8 kilogr., oder  $\frac{1}{7}$  mehr beträgt als auf der Rorschacher (74,5), so ist dieses Mehr der längeren Entwicklung der Linie, also dem ungünstigern Trace und der grössern Fahrgeschwindigkeit zuzuschreiben. Allgemein ergibt sich auch hieraus die längst bekannte Thatsache, dass die kürzeste Linie die geringsten Widerstände erzeugt.

Ist nun aber das Tracé einer Bahn gegeben, so wird sich der Betrieb um so billiger gestalten je weniger der zu überwindende Total-Widerstand beträgt. Nun ist aber für jede Bahn die zu fördernde Last in dieser Hinsicht eine vorgeschriebene, an deren Widerstand somit nichts zu ändern, wohl aber an jenem, den der Motor, als Fahrzeug betrachtet, hervorruft. — Dem zu überwindenden Widerstand steht gegenüber der von der Locomotive wirklich ausgeübte. Beim Adhäsionssystem wird derselbe bedungen durch das Adhäsionsgewicht und durch den Schienenzustand. Hier wären wir beim Zankapfel aller Gelehrten und Practiker angelangt, beim Adhäsionscoefficienten. Soll ein  $\frac{1}{3}$  oder  $\frac{1}{4}$  des Adhäsionsgewichtes als Zugkraft einer Maschine angenommen werden? Möge sich jeder selbst diese Frage entscheiden, nur soviel möchte ich bemerken, wenn für Brücken und Bauten jeder Art, für Maschinentheile eine 5, 10, ja 20-fache Sicherheit verlangt und mit Reglementen und Pflichtenheft erpresst wird, so sehe ich deren Nutzen nicht ein, wenn auf einer Bergbahn Züge befördert werden, oder auf dem Papier wenigstens befördert werden wollen, die ohne Rücksicht auf die Witterung bloss  $\frac{1}{6}$  oder noch mehr Adhäsion voraussetzen!

Von dieser Unbestimmtheit der Zugkraft weiss das Zahnradsystem nichts. Zahn um Zahn arbeitet sich das Rad in der Zahnstange vorwärts, in jeder Secunde ebenso sicher haltend, als sich weiter schaffend, je nach dem Willen des Führers. Die

Fig. 18

VERHÄLTNISS zwischen ZUGLEISTUNG und WIDERSTAND in FOLGE

AHNREIBUNG einer ZAHNRADLOCOMOTIVE

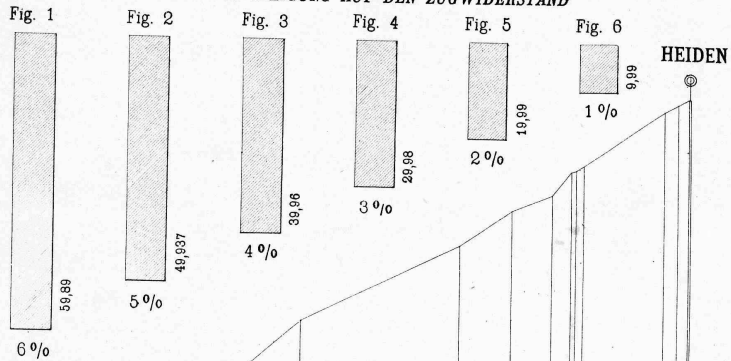
6000

186

Fig. 19

TAFEL I.

## EINFLUSS DER STEIGUNG AUF DEN ZUGWIDERSTAND



HEIDEN

UETLIBERG

WIDERSTANDSFLÄCHE PRO TONNE LAST

RORSCHACH

Fig. 16

LÄNGEN 1:40 000

HÖHEN 1:4000

UETLIBERG 84,8  $\frac{kg}{t}$ RORSCHACH-HEIDEN 74,5  $\frac{kg}{t}$ 

792 m Höhe über Meer

814 m

Steigungen  
Entfernung in Kilometern  
Curven

Verlag Orell Füssli &amp; Co

## EINFLUSS DER CURVEN UND GESCHWINDIGKEITEN

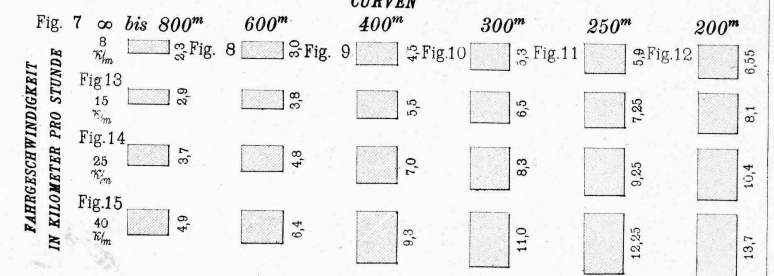


Fig. 17

ZÜRICH

UETLIBERG 50,5  $\frac{kg}{t}$ RORSCHACH-HEIDEN 44,5  $\frac{kg}{t}$ 

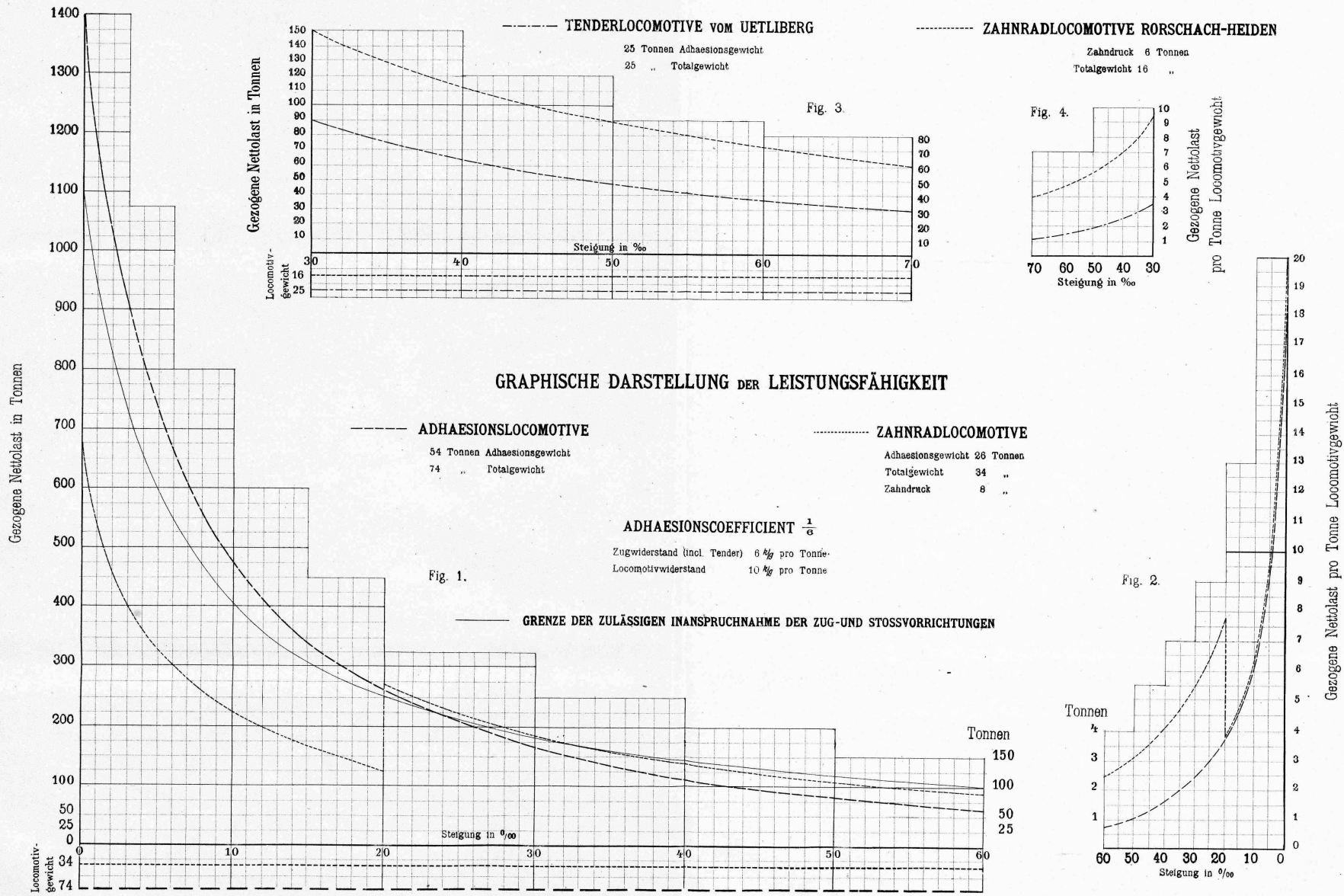
415 m

P. Baer und

Ant. Orell Füssli &amp; Co



TAFEL II



zuverlässige Zugkraft, die unter allen Umständen ausreichende Adhäsion der Locomotive zum Oberbau, sei sie nun künstlich oder natürlich, das allein bildet aber die Sicherheit im Betriebe und in dieser Hinsicht steht das Zahnrad-system unerreicht da, vielleicht am wenigsten gerade durch das Adhäsionssystem.

Doch ist auch das Verhältniss zwischen der wahrscheinlichen Adhäsion und dem eigenen Widerstande nicht bei allen Adhäsionsmaschinen dasselbe, treten wir desshalb auf die einzelnen Constructionen etwas näher ein.

Die Adhäsionslocomotive mit Schlepptender wie sie z. B. am Brenner und Semmering arbeitet, besitzt den grossen Vortheil, dass das Adhäsionsgewicht trotz Consum an Wasser und Kohle constant bleibt. Dagegen besitzen solche Maschinen einen grossen festen Radstand und hohe Achsenbelastung, verursachen desshalb bedeutende Bahnunterhaltungskosten, zudem führen sie einen schweren Tender mit, der z. B. gerade am Semmering dienstfähig 27 Tonnen wiegt, also gerade die Zugkraft für drei geladene Güterwagen absorbiert.

Die Tendermaschinen benutzen ihr ganzes Gewicht zur Adhäsion, sie arbeiten daher am günstigsten. Da nun aber der Consum an Brennmaterial und Wasser auf Rechnung des Adhäsionsgewichtes geht, so tritt nicht selten der Fall ein, dass gerade da, wo die Adhäsion am grössten sein sollte, sie am kleinsten ist, ein Umstand, der sich namentlich bei den früher am Brenner verwendeten Tenderlocomotiven soll fühlbar gemacht haben. Scheinbar wäre diesem Uebelstande leicht dadurch abzuhelfen, dass man das anfängliche Adhäsionsgewicht etwas grösser wählt, da es immerhin vorteilhafter wäre 8 oder 10 Tonnen anfänglich mehr zu fördern als auf der ganzen Fahrt 20 Tonnen, was bei einem Schlepptender der Fall ist. Für mittlere Bahnen ist dieses freilich durchführbar und es werden deshalb diese Maschinen dort auch mit grossem Vortheil angewendet. Für Hauptbahnen, die ganz kräftige Maschinen erfordern, würde eine derartige Verbesserung entweder zu sehr hoher Achsenbelastung, oder dann zu einer grossen Achsenzahl und daher grossem Radstande führen, beides Umstände, welche wieder ganz bedeutende Bahnunterhaltungskosten hervorrufen. Gerade diese Uebelstände haben aber zu zwei Vervollkommnungen dieses Systems geführt. Dahin gehört:

Die Meyer'sche Tendermaschine. Diese Construction vermeidet hohen Raddruck und langen, festen Radstand durch Anordnung der Triebräder zu zwei Untergestellen, wovon jedes durch ein Cylinderpaar in Bewegung gesetzt wird. Die Meyer'sche Locomotive ist unstreitig hinsichtlich Leistung eine vorzügliche Maschine und verdient die Bezeichnung: Berglocomotive, es sind einzig die 4 Cylinder, welche die Handhabung erschweren und natürlich auch Anschaffung und Unterhalt vertheuern.

Die Fairlielocomotive ist eine nicht minder vorzügliche Tendermaschine, auch sie hat gleich der Meyer'schen die Triebachsen zu zwei Untergestellen vereinigt, schont somit den Oberbau ebenso wie jene. Allein Fairlie gibt seinen Locomotiven Alles und Jedes doppelt, von der Feuerthüre weg bis zum Kamin. Es sind zwei mit den Feuerbüchswänden zusammengestellte Tendermaschinen leichter Construction. Selbst die Bedienung muss die doppelte sein. Das bedingt, dass im Falle eine kleine Reparatur vorkommt, eigentlich stets 2 Maschinen ausser Dienst müssen. Schon aus diesem Grunde ist eine Fairlielocomotive mehr dienstunfähig als zwei einfache Tendermaschinen zusammen genommen. Aus dem Umstande aber, dass in Folge der zahlreichen und schwierigen Kupplungen zudem noch viele Reparaturen nöthig werden, von denen einfache Maschinen nichts wissen, stellen sich die Unterhaltungskosten der Fairlie'schen Locomotiven so hoch, dass deshalb ihre bedeutenden Vortheile zurückgedrängt werden.

Gehen wir hier zur eigentlichen Leistung einer Locomotive über. Einem Briefe Statkowski's, Generaldirector der Poti-Tiflis Bahn, entnehme ich, dass er auf seiner Bahn von 45 ‰ mit Sicherheit Züge von 150 Tonnen Bruttogewicht befördert. Dazu verwendet er eine gewöhnliche Tenderlocomotive als Vorspann- und eine Fairlielocomotive als Remorqueurmaschine.

Das Gewicht der Tendermaschine beträgt leer 34, ausgerüstet 40 Tonnen.

Das Gewicht der Fairlielocomotive beträgt leer 57, ausgerüstet 66 Tonnen.

Das mittlere Adhäsionsgewicht ist somit

100 Tonnen,

damit werden also 150 Tonnen auf 45 ‰ befördert. Jedenfalls ist das nicht die grösstmögliche Leistung, namentlich nicht bei guter Witterung, aber es ist, wie Herr Statkowski schreibt, eine betriebssichere. Ich führte dieses Beispiel als Pendant zu zwei Vorschlägen an, die vor nicht langer Zeit gemacht wurden. Der eine derselben besteht darin, mit einer Fairliemaschine von 60 Tonnen Gewicht, oder eigentlich durchschnittlich nur 55 Tonnen, auf 4 ‰ 150 Tonnen zu befördern, der andere mit einer 56 Tonnen wiegenden gewöhnlichen Maschine auf 40 oder 42 ‰ ebenfalls 150 Tonnen nebst einem circa 20 Tonnen schweren Tender zu ziehen, beides Leistungen, welche ziemlich genau das Doppelte der von Herrn Statkowski als betriebssicher bezeichneten, ausmachen.

Um sich von der Leistungsfähigkeit überhaupt ein richtiges Bild verschaffen zu können, wurde dieselbe von verschiedenen Locomotiven auf Tafel II graphisch dargestellt. In Fig. 1 bedeutet die gebrochene Linie (— — —) die Nettoleistung einer gewöhnlichen Maschine mit 54 Tonnen Adhäsionsgewicht und einem 20 Tonnen schweren Tender. Adhäsionscoefficient wurde  $\frac{1}{6}$  angenommen, also ein günstiger Schienenzustand vorausgesetzt. Das Gewicht des Motors, das eigentlich auch zum beförderten gehört, wurde unterhalb der Abseissenaxe abgetragen. Wird nun jeweilen diese constante Förderung mit der zur betreffenden Steigung gehörenden nutzbaren Leistung verglichen, so lässt sich, wie in Fig. 2 geschehen, eine zweite Curve construiren, welche darstellt, wie viele Tonnen des beförderten Zuges für jede Steigung auf eine Tonne Locomotivgewicht fallen. Fragliche Maschine von total 74 Tonnen Gewicht zieht z. B. auf 10 ‰ einen Wagenzug von 475 Tonnen, demnach treffen auf 1 Tonne Locomotivgewicht 6,5 Tonnen gezogenes Wagengewicht.

Die ausgezogene Linie (—) bedeutet die zulässige Inanspruchnahme der Zug- und Stossvorrichtungen unsrer Wagen. Verfloissen Winter hatte ich bei einer grossen Zahl Wagen der Schweiz und des Auslandes Abmessungen über die Dimensionen dieser Theile vorgenommen und als Mittel gefunden, dass für die ausgeführten Fahrzeuge eine Inanspruchnahme von höchstens 6400 oder 6500 kilogr. zulässig sei. Es ist seither im „Organ“ eine ganz umfassende Abhandlung über dasselbe Thema erschienen, welche ebenfalls keine höhere Grenze gestattet. Einer Mittheilung des Herrn Obergeringenieur Bridel entnehme ich, dass auf seinen Bahnen mit 25 ‰ Steigung ein Zuggewicht von 172 Tonnen (48 Achsen) schon häufige Kuppelhackenbrüche verursache, trotzdem dieselben aus ganz gutem Material und nach den normalen Dimensionen ausgeführt seien. Berechnet man den Widerstand eines solchen Zuges, so ergibt sich höchstens eine Zugkraft von 6000 kilogr., es erscheint somit die oben bezeichnete Grenze von 6,500 schon bedeutend hoch. Wie Fig. 1 zeigt, ist die Leistung der supponirten Locomotive bei 25 ‰ gerade gleich dem zulässigen Maximum, während sie für geringere Steigungen zu gross sein würde. Auf höhern Steigungen als 25 ‰ nimmt die Nutzleistung natürlich rasch ab. Günstiger stellt sich in dieser Hinsicht die reine Tendermaschine, womit z. B. die Uetlibergbahn betrieben wird, deren Zugfähigkeit in Fig. 3 durch die (— . — . —) Linie dargestellt wird. Erheblich günstiger stellt sich hier natürlich das Verhältniss der ziehenden zur gezogenen Last. Während auf 6 ‰ bei der Locomotive mit Schlepptender auf 1 Tonne Maschinengewicht nur 0,8 Tonnen befördertes Zuggewicht fallen, so ergibt sich bei der reinen Tenderlocomotive hiefür 1,5 Tonnen.

Diesen beiden Adhäsionssystemen ist gegenüber gestellt und jeweils durch die punktirte Curve dargestellt in Fig. 1 die Leistung einer Zahnradlocomotive gemischten Systems von 26 Tonnen Adhäsions- und 34 Tonnen Totalgewicht und 8000 kilogr. Zahndruck, in Fig. 3 die Leistung der reinen Zahnrad-

locomotive von Rorschach-Heiden mit 16 Tonnen Totalgewicht und 6,000 kilogr. Zahndruck. Für die erstere ist vorausgesetzt, dass sie bloss bis 20 0/0 mit natürlicher Adhäsion zu arbeiten habe, und dass Steigungen zwischen 2 und 3 0/0 vermieden seien, auf höhern Steigungen 3 bis 6 0/0 dagegen die Zahnstange angewendet sei.

Eine fast allgemein verbreitete Ansicht ist, es müsse jede Locomotive pro geleistete Pferdestärke ein Gewicht von  $\frac{1}{10}$  bis  $\frac{1}{11}$  Tonnen besitzen. Dass diese Verhältnisszahlen nicht streng richtig sind, sondern, z. B.  $\frac{1}{7}$  bei den Uetlibergmaschinen u.  $\frac{1}{5}$  bei jenen am Semmering, lässt sich schon aus der kurzen Vergleichung zwischen Tenderlocomotive und Maschine mit Schlepptender herleiten, denn das wird wohl nicht bestritten werden, dass hinsichtlich Widerstand es auf dasselbe heraus kommt, ob das Locomotivgewicht auf den Trieb- oder Tenderachsen ruht. Ganz richtig sind aber diese Zahlen in Bezug auf eine Zahnradlocomotive. Der Grund hiefür liegt in der dem Systeme eigenthümlichen Uebersetzung der Kraft. Während beim Adhäsionssystem das Triebrad mit jedem Kolbenhube eine Umdrehung macht, dreht sich die Zahnradtriebachse bloss um die Hälfte oder nur um ein Drittheil. Es gestattet diese Construction die Dampfmaschine sehr rasch, 2 bis 3 Mal schneller laufen zu lassen als bei Adhäsionsmaschinen. Dieses bewirkt einen höchst intensiven Luftzug, eine rasche Verbrennung und somit auch rasche Verdampfung. Die Folge ist, dass der Kessel kleiner und leichter gehalten werden kann, dass die Cylinder, die Schubstangen und alle diese Bewegungsmechanismen bedeutend, nahezu die Hälfte, leichter ausgeführt werden können. Allein diese Reduction für sich trägt wieder ihre Zinsen, indem dadurch die Gesamtleistung der Locomotive eine geringere zu sein braucht, daher auch eine entsprechend leichtere Maschine genügt.

Das sind kurz die Gründe, warum die ausgeführten 32 Zahnradlocomotiven gegenüber ihrer Leistung ein so auffallend kleines Gewicht besitzen, es ist auch das der Grund, warum Herr Director Riggenbach in Aarau für den Betrieb der Gotthard- und Höllenthalbahn eine 34 Tonnen schwere Zahnradlocomotive vorschlagen konnte, welche auf 5 0/0 ebensoviel leistet als eine 80 Tonnen schwere Adhäsionsmaschine mit Schlepptender.

Freilich besitzt jede Zahnradlocomotive einen speziellen Widerstand — somit einen Nachtheil, welchen die Adhäsionsmaschinen nicht kennen, die Zahnreibung.

Bezeichnet:

$n_1$  und  $n_2$  die Zähnezahl,

$\varphi$  den Reibungscoefficienten,

$P$  den Zahndruck,

so lässt sich die auf den Theilkreis reducirte Zahnreibung ausdrücken:

$$R = \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \pi \varphi P.$$

Bei der vorzüglichen Bearbeitung der Zahnräder darf  $\varphi = \frac{1}{10}$  gesetzt werden, so dass

$$R = 0,314 \left( \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) P.$$

Für die beiden Transmissionsräder ist nun:

$$P = 6700 \text{ kilogr.}$$

$$n_1 = 23$$

$$n_2 = 55$$

somit

$$R_1 = 130 \text{ kilogr.}$$

Für das Zahntriebrad und die Zahnstange ist

$$P = 6000 \text{ kilogr.}$$

$$n_1 = 33$$

$$n_2 = \infty$$

daher

$$R_2 = 56 \text{ kilogr.}$$

Also der Gesamtverlust in Folge Zahnreibung

$$R_1 + R_2 = 186 \text{ kilogr.}$$

was 3,2 0/0 der 6000 kilgr. betragenden Zugkraft ausmacht. Auf Tafel I, Fig. 18 und 19 ist dieses Verhältniss zwischen totaler Zugkraft und Verlust an Zahnreibung versuchsweise ebenfalls graphisch dargestellt. Wenn man aber in Rechnung zieht, dass auf 5 0/0 das Mehrgewicht eines Tenders und der Adhäsionsmaschine als solche durchschnittlich 25 bis 30 0/0 der gesamten entwickelten Zugkraft für sich in Anspruch nimmt, so verschwindet dieser specielle Widerstand der Zahnradlocomotiven.

Auf Tafel II, Fig. 1 ist nun, wie bereits gemeldet, die Leistung der erwähnten Zahnradlocomotive gemischten Systems durch die punktirte (.....) Linie dargestellt. Sie leistet auf der Zahnstange ansehnlich mehr als die doppelt so schwere Adhäsionsmaschine. In der Vergleichung zwischen ziehender und gezogener Last stellt sie sich begreiflich da, wo die natürliche Adhäsion arbeitet, gleich wie die andere, auf der Zahnstange dagegen weit günstiger. So fallen z. B. bei 5 0/0 bei der Adhäsionslocomotive 1,1 Tonnen Zuglast auf eine Tonne Locomotivgewicht, bei der Zahnradmaschine dagegen 3,2. Bei dieser Construction, die, wie erwähnt, für Hauptbahnen bestimmt ist, tritt das geringe Gewicht gegenüber der Leistungsfähigkeit weniger hervor und das deshalb, weil mit Rücksicht auf den Betrieb sehr grosse Fassungskapazitäten für Kohlen und Wasser vorgesehen werden mussten. Bei einer reinen Zahnradlocomotive, wie jene von Rorschach-Heiden, deren Leistung in Fig. 3 angegeben ist, zeigt sich dieses Verhältniss weit günstiger. So zieht z. B. auf 7 0/0 diese Maschine nahezu ihr vierfaches, während die Tendermaschine am Uetliberg nur noch wenig mehr als ihr einfaches Gewicht mit Sicherheit.

Unter Leistung verstehen wir aber nicht nur die relative, sondern auch die absolute, d. h. die Zeit, in welcher eine bestimmte Last befördert werden kann. Aus Tafel II ist zu entnehmen, dass auf 5 0/0 zwei gewöhnliche Adhäsionsmaschinen ungefähr gleichviel ziehen, wie eine derselben auf 25 0/0. Da nun für beide Steigungen die Fahrgeschwindigkeit ungefähr dieselbe, 15 Kilometer, der Weg bei Anwendung von 5 0/0 aber nur die Hälfte beträgt, so ist die absolute Leistung auf einer Bahn mit 5 0/0 nahezu dieselbe, wie auf einer solchen mit bloss 25 0/0.

Beim Zahnradsystem leisten zwei Locomotiven auf 5 0/0 mehr als eine Adhäsionsmaschine auf 21 2/3 0/0. Wäre daher die Geschwindigkeit die nämliche, so wäre ohne Weiteres auch die absolute Leistung einer 5 0/0-Bahn mit Zahnradbetrieb höher als für eine 2 1/2 0/0 und Adhäsionsbetrieb. Nun ist aber die Fahrgeschwindigkeit einer Zahnradlocomotive nur 8 bis 10 Kilometer pro Zeiteinheit. Dennoch ist die Leistung dieses Systems ebenso gross, ja noch grösser als jene des gewöhnlichen. Am Rigi werden in Intervallen von 3 bis 5 Minuten 4 und 5 Züge befördert, ohne dass sich seit 7 Jahren ein Anstand gezeigt hätte. Dieses ist einzig der grossen Betriebssicherheit dieses Systems zuzuschreiben. Einen Zug in seiner normalen Schnelligkeit auf 1 1/2 Meilen Länge anzuhalten, ist für das Zahnradsystem etwas ganz Zulässiges ohne Beschädigung der Fahrzeuge oder des Oberbaues. Diesem Umstande verdankt das System trotz der geringen Fahrgeschwindigkeit eine fast unbegrenzte Leistungsfähigkeit, darin bestehend, dass nöthigenfalls eine Anzahl Züge nacheinander spedirt werden können, ohne dass deshalb die Sicherheit gefährdet würde. Diese Eigenschaft verdankt das System seinem Oberbau, welcher freilich auch wieder eine Art Nachtheil bildet, weil dessen Anschaffung für Hauptbahnen circa 80 000 Fr. pro Bahnkilometer erfordert.

Ausser der Sicherheit und der Leistung kommen aber auch die Betriebskosten in Berücksichtigung. Dieselben zerfallen in Kosten für:



1. allgemeine Verwaltung,
2. Bahnaufsicht und Unterhalt,
3. Expeditionsdienst,
4. Transport und Zugkraft.

Daran sind die Ausgaben für allgemeine Verwaltung und Expeditionsdienst von der Steigung unabhängig und lassen wir sie daher weg.

Bahnaufsicht und Unterhalt zerfallen in:

1. Bauleitung für Bahnunterhalt,
2. Unterhalt der Hochbauten,
3. Unterhalt des Bahnabschlusses,
4. Bahnaufsicht,
5. Oberbau.

Die ersten drei Posten sind wie die vorigen von den Steigungsverhältnissen wenig beeinflusst.

Beim Adhäsionssystem darf für Bahnaufsicht auf einer Bahn mit 5‰ pro Bahnkilometer gleich viel gerechnet werden wie für eine solche von 2 1/2‰ oder 1200 Fr. Für Oberbau zahlen die schweizerischen Bahnen mit 10–12‰ mittlerer Steigung pro Kilometer durchschnittlich 4000 Fr. Director Gottschalk am Semmering 8000 Fr. oder 70‰ des Gesamtbetrages, 11 500 Fr. für Bahnaufsicht und Unterhaltung. Dem entsprechend dürften sich die Unterhaltungskosten einer 5‰ Bahn mit Adhäsionsbetrieb auf ungefähr 20 000 bis 25 000 Fr. stellen.

Beim Zahnradbetrieb wollen wir für Bahnaufsicht das Doppelte rechnen, also 2400 Fr. Beim Oberbau ist zu erwähnen, dass bedeutend leichtere Schienen verwendet werden können, somit das zu Ersetzende ebenfalls viel billiger zu stehen kommt, dass gar keine Adhäsions-Triebräder vorhanden sind, somit deren schädliche Einfluss ganz wegfällt, dass die Maschinen einen kleinern Radstand erhalten können, dass mit einer sehr geringen Geschwindigkeit gefahren wird und dass endlich weder Wagenräder noch Locomotivräder gebremst zu werden brauchen, sondern die ganze Tangentialkraft vom Zahnrade aufgenommen wird. Alle diese Punkte sprechen dafür, dass die Steigung beim Zahnradbetrieb auf den Oberbau einen verhältnissmässig sehr geringen Einfluss ausübt und dass derselbe viel mehr geschont wird, als bei Adhäsionsbahnen. Nun kommen aber neu hinzu:

Die Zahnstange und  
die Langschwelen,

beide aus Eisen. Genaue Statistiken haben ergeben, dass bei einer zulässigen Zahnabnutzung der Zahnstange von 2  $\frac{mm}{m}$ , eine Million Züge dieselbe passiren können, was auch bei starkem Verkehr eine Dauer von 80 bis 100 Jahren voraussetzt. Mit andern Worten: der specielle Zahnstangenoberbau ist von derselben Dauer wie überhaupt alle eisernen Bauobjecte und übt somit wenig Einfluss auf die Unterhaltungskosten aus. Unter Berücksichtigung des Angeführten, kann somit erklärt werden, dass für eine Hauptbahn mit Zahnradbetrieb, die Bahnunterhaltungskosten pro Kilometer höchstens gleich zu setzen sind denjenigen einer 2 1/2‰-Bahn mit Adhäsionsbetrieb, also gleich 12 000 Fr. Da aber für eine auszuführende Bahn bei Anwendung von 5‰ die Länge auf die Hälfte reducirt wird, so ergibt sich eine um ungefähr die Hälfte geringere Ausgabe beim Specialsystem.

Die Transport- und Zugkraftkosten lassen sich trennen in Transport- und constante Zugkraftkosten circa 25‰ und variable Zugkraftkosten 75‰. Die ersten ebenfalls wenig von der Steigung abhängig, wollen wir nicht weiter betrachten.

Für Adhäsionsbetrieb haben vielseitige Untersuchungen ergeben, dass der doppelte Zugwiderstand die dreifachen Zugkraftkosten erfordert. Wenn also Director Gottschalk am Semmering bei 25‰ Fr. 1,50 pro Zugkilometer bezahlt, so kostet ein solcher auf einer 5‰ Bahn rund 4,50 Fr. Nun werden dort um 1,50 Fr. durchschnittlich 130 Tonnen befördert, eine Tonne kostet also 1,15 Cts. Auf 5‰ können durchschnittlich nicht über 75 Tonnen befördert

werden, es stellt sich desshalb eine Tonne auf 6 Cts., da aber der gesammte Weg um die Hälfte kürzer ist, effectiv auf 3 Cts., also immerhin noch dreimal theurer als auf einer Bahn mit 2 1/2‰.

Beim Zahnradbetrieb kann auf 5‰ ansehnlich mehr als die Hälfte von dem gezogen werden, was eine Adhäsionsmaschine auf 25‰ leistet, so dass dabei der doppelte Zugwiderstand nur die doppelten Zugkraftkosten erfordert. Es kostet somit der Zugkilometer ungefähr 3 Fr., oder bei der zulässigen Belastung des Zuges von 110 bis 120 Tonnen, diese 2,25 Cts. Mit Rücksicht auf den nur halb so langen Gesamtweg, effectiv nur 1,13 Cts., somit annähernd gleich viel wie auf einer 25‰ Bahn und Adhäsionsbetrieb. Dieses Resultat scheint um so glaubwürdiger, wenn wir uns an Hand der Tafel II vergegenwärtigen, dass auf 25‰ die Locomotive mehr als halb so schwer ist als das durchschnittliche Zuggewicht, während beim Zahnradsysteme die Maschine nur 1/3 der auf 5‰ beförderten Züge wiegt.

Zum Schlusse noch ein Wort über das Wichtigste, die Anlagekosten, denn gerade diese sind ja eigentlich der Schöpfer der Steilrampen. Aehnlich wie die Zug- und Stossvorrichtungen der heutigen Fahrzeuge die Leistung einer Locomotive begrenzen, so das Anlagekapital das Zustandekommen und die Lebensfähigkeit von Bahnen. Anlehnend an die gestrigen Worte unsres Herrn Präsidenten Bürkli-Ziegler bin ich der Ueberzeugung, dass der Ingenieur in erster Linie das dem Obligationär und Actionär entlehnte Geld nicht als *fond perdu*, sondern als eine Schuld betrachten soll, die von Gesetzes wegen regelmässig verzinst und zwar aus den Betriebseinnahmen verzinst werden soll. Wenn daher heute beim jetzigen Stand der Betriebsmittel sich das Baucapital einer Bahn unter Anwendung von Rampen mit 4 bis 6‰ Steigung bedeutend niedriger stellt, so finde ich es ungerechtfertigt mit Millionen unter und über dem natürlichen Tracé in den Berg hineinzubohren, so eigentlich als ob man sich verstecken wollte, um nicht sehen zu müssen, was die Natur bietet.

Welches sind die ringern und weniger mühsamen Ersparnisse, jene welche der Ingenieur auf seinem Bureau, im schlimmsten Falle während eines Jahres mit dem Messtisch im Felde macht, oder jene, welche der Betriebsbeamte Menschenalter hindurch und rapenweise mit der arbeitenden Klasse erschinden muss?

Die zu erzielenden Ersparnisse beim Baue sind auch mancherorts gar nicht so unbedeutend. Wenn z. B. Herr Oberingenieur Hellwag in seinem meisterhaften Gutachten an die Gotthardirection, nachweist, dass mit Anwendung von 52, 57 und 60‰ Rampen bei der Gotthardbahn eine Ersparnis von 25 bis 30 Millionen zu machen wäre, so sind dieses

1 1/2 Millionen sicherer Zins, und wenn andererseits, ebenfalls von Autoritäten, nachgewiesen wird, dass der Betrieb zwischen Flüelen und Biasca jährlich 2 1/2 bis 3 Millionen erfordert, so sind jene ersparten 1 1/2 Millionen Zinsen die Hälfte der ganzen Betriebskosten, sie sind die ganze Quote, welche bei Anwendung des Zahnradsystems die Zugkraftkosten ausmachen, mit andern Worten: Der Maschinenmeister fährt jahraus jahrein, ohne Unkosten zwischen Flüelen und Biasca.

Diese Zahlen sollten sprechen, sollten zehnfach sprechen zu einer Zeit und in Verhältnissen wie die jetzigen. Denn Niemand wird erwarten, dass der Verkehr, dass die Einnahmen die doppelten seien, einzig weil die Zinsen des Baucapitals das Doppelte betragen.

Es ist Ihnen bekannt, dass dieser Tage die Terrainstudien für eine Bahn von Freiburg nach Donaueschingen unter Anwendung von 5‰ Rampen und Zahnradbetrieb beendet wurden. Ich glaube, dass trotz der allgemeinen Krisis diese Bahn in nächster Zeit zur Ausführung gelangen wird und ich bin sicher, dass Sie sich dann nicht nur überzeugen werden, wie von zwei Bahnen im gleichen Lande, und unter gleichen Verhältnissen, die erste, mit 18‰ angelegt, das Doppelte kosten konnte, sondern dass auch die mitgetheilten Daten über den Betrieb auf Wahrheit beruhen.



Im Gesprochenen habe ich mich bestrebt, Ihnen an Hand der Betriebsergebnisse nachzuweisen, dass:

Die Anwendung höherer Steigungen als die jetzigen für das Adhäsionssystem bei grösseren Bahnen wenig zu empfehlen ist, weil die am Baucapital gemachten Ersparnisse nahezu oder ganz durch weit höhere Betriebskosten aufgezehrt werden;

Dass es aber heute schon ein anderes Betriebssystem gibt, welches auf 5% ebensoviel, im Nothfalle mehr leistet, als das gewöhnliche auf 2 1/2%; welches auf 5% effectiv nicht mehr Unterhaltungs- und Betriebskosten erfordert, als jenes auf 2 1/2% und welches ohne den Betrieb in seiner jetzigen Form zu stören oder zu beeinträchtigen, eine viel höhere, eine sozusagen unbedingte Sicherheit gewährt, bei einer bescheidenen Mehrausgabe für den Oberbau.

Darum möchte ich Ihnen empfehlen, wenn bei Hauptbahnen durch Anwendung von Maximalsteigungen bis 6% wirklich erspriessliche Ersparnisse beim Baue möglich werden, diese trotz Vorurtheil und Anhänglichkeit ans Altgewohnte ohne Bedenken zu machen und dadurch mancher Bahn nicht nur das Zustandekommen, sondern auch die Lebensfähigkeit zu sichern.

(Fortsetzung des Protocolls folgt.)

\* \* \*

### Ueber eine practische Form des Haar-Hygrometers.

Von Dr. C. Koppe.

Auf der Ausstellung, welche der zürcherische Ingenieur- und Architekten-Verein anlässlich der 27. Jahresversammlung des schweizerischen Vereins veranstaltet hat, war ein Instrument ausgestellt, das wohl dazu geeignet sein dürfte die Aufmerksamkeit auch in weitem Kreise auf sich zu ziehen. Es ist dies das Procenthygrometer mit Justirvorrichtung, ausgestellt von der mathematischen Werkstätte von Jacob Goldschmid in Zürich.

Die Neubauten sollen durch die Gesundheitscommissionen in Bezug auf die Feuchtigkeit untersucht werden. Es soll constatirt werden, ob das Haus genügend ausgetrocknet sei um den sanitarischen Anforderungen zu entsprechen. Zu dieser Untersuchung dient nun das Hygrometer, man ist im Stande damit den Feuchtigkeitsgehalt der Luft genau feststellen zu können. Da nun dieses Instrument bisher von den meisten hiebei Betheiligten wenig oder gar nicht gehandhabt worden ist, so dürfte eine Beschreibung des Instrumentes und eine kleine Mittheilung über die Wirkung desselben nicht unwillkommen sein.

#### 1. Erklärung des Principes des Haarhygrometers.

Durch die Versuche von Saussure und später diejenigen von Gay-Lussac und Regnault ist hinreichend dargethan, dass ein Haar, auf angemessene Weise von Fett befreit, dem Grade der relativen Feuchtigkeit des Raumes, in welchem es sich befindet, mit grosser Regelmässigkeit folgt, sodass man dasselbe als Hygrometer benutzen kann. Regnault überzeugte sich durch Versuche, dass gut construirte Haarhygrometer die relative Feuchtigkeit bis auf einzelne Procente genau anzugeben im Stande sind; nichts desto weniger glaubte er vom Gebrauche dieser Art Hygrometer abzuhalten zu müssen, da die von ihm benutzten Instrumente zu leicht in Unordnung geriethen, um, wenn ein Transport derselben nothwendig war, auch nur einiger Maassen zuverlässige Resultate erwarten zu lassen. Dies gilt auch jetzt noch von allen dem Haarhygrometer gegebenen Formen, sowie von allen Feuchtigkeitsmessern, welche auf den hygroskopischen Eigenschaften organischer Substanzen beruhen, unter denen das Haarhygrometer unstreitig am regelmässigsten functionirt. Die Störungen, welche diese Instrumente durch den Transport, die Witterung, die Zeit, etc. erleiden, fallen theilweise dem Mechanismus zur Last, welcher die durch den Wechsel der Feuchtigkeit bedingte kleine Verlängerung oder Verkürzung des Haares zur Anschauung bringen soll, theilweise haben sie ihren Grund in einer wirklichen Veränderung, d. h. einer von dem Feuchtigkeitsgrade unabhängigen

Änderung der Länge des Haares. Ein gereinigtes Menschenhaar hat im Mittel eine Tragkraft von 100 Gramm und eine Elasticität von 33%, d. h. es lässt sich um 1/3 seiner Länge auseinander ziehen ehe es zerreist. Ist es im Hygrometer um eine Axe geschlungen, welche 4 mm Durchmesser hat, nimmt ferner die Scale einen Quadranten ein und denkt man sich dieselbe in 100 gleiche Theile getheilt, so entspricht 1 solcher Theil einer Veränderung der Länge des Haares von wenigen Hundertsteln eines Millimeters und wenn das Haar selbst einige hundert Millimeter lang ist, so lässt sich schon *a priori* schliessen, dass auch eine wirkliche Dehnung des Haares, welche eine Verstellung des Zeigers um mehrere Procente bewirkt, im Vergleich zur ganzen Länge des Haares so gering ist, dass sie keine wesentliche Veränderung der hygroskopischen Eigenschaften des Haares veranlasst, sondern nur den Nullpunkt der Scale verschiebt. Dies gilt selbstredend von allen den Verstellungen, welche im Mechanismus ihren Grund haben, sodass, wenn man für ein Haar die Procentscale einmal genau bestimmt hat und das Hygrometer in Folge des Transportes und Gebrauchs ganz unrichtig zeigt, man doch eine ganz identische Procentscale erhält, wenn man dieselbe durch neue Vergleichen noch einmal bestimmt. Ein solches Hygrometer wird daher wieder ganz richtig functioniren, wenn man die Mittel besitzt, einen Punkt der Scale zu controliren und zu berichtigen, was durch zahlreiche, practische Versuche hinreichend bestätigt worden ist. Eine bleibende und wesentliche Veränderung des Haares ist erst dann eingetreten, wenn dasselbe eine sehr auffallende Erscheinung zeigt, wenn es nämlich aus einem trocknen in einen vollständig feuchten Raum gebracht, sich nicht verlängert, sondern verkürzt. In diesem Falle ist die Elasticitätsgrenze überschritten und das Haar unbrauchbar. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man ein Haar gewaltsam dehnt und dann in ein Hygrometer spannt. Es verlängert sich dann, aus dem Trocknen ins Feuchte gebracht, zuerst ein wenig, verkürzt sich aber unmittelbar darauf so, dass der Zeiger oft rückwärts über die ganze Scale geführt wird. Dieselbe Eigenschaft zeigt ein Haar, welches zu stark belastet ist, je nach dem Grade der Belastung nach kürzerer oder längerer Zeit und soll daher die Kraft, mit welcher ein Haar im Hygrometer gespannt ist, ein halbes Gramm nicht übersteigen. Dieses Gewicht genügt zwar nicht, das trockne Haar ganz gerade zu spannen, wohl aber das Feuchte und auch aus diesem Grunde kann ein transportables Haarhygrometer, bei welchem das Haar während des Transportes entlastet war, nicht richtig zeigen, denn das Haar krümmt und kräuselt sich etwas in der Trockenheit, das schwache Gewichtchen genügt dann nicht, dasselbe wieder ganz gerade zu spannen und erst durch Einführen in einen ganz mit Feuchtigkeit gesättigten Raum wird es wieder auf seine normale Länge ausgedehnt. Da ein solcher Raum aber im Allgemeinen sehr selten zur Hand ist, so findet man bei fast allen Hygrometern das Gewicht, mit welchem das Haar gespannt ist, so gross, dass hierdurch das Haar binnen kurzem unfehlbar ruinirt werden muss, wie Saussure durch seine mühsamen aber umfassenden Versuche so klar nachgewiesen hat, dass es wohl verdiente etwas mehr beachtet zu werden.

Durch fortgesetztes Behandeln mit Aether, Natron, Kali, etc. lässt sich ein Haar ungemein empfindlich machen, doch kann man hierin leicht zu weit gehen und die Haltbarkeit des Haares wesentlich beeinträchtigen. Ein zu lange Zeit oder zu energisch mit Reinigungsmitteln behandeltes Haar wird auch durch das schwächste Gewicht sehr bald aus einander gezogen und kommt in einem mit Feuchtigkeit gesättigten Raume nicht zur Ruhe, sondern verlängert sich immer mehr.

Alle im Vorigen erwähnten Eigenschaften des Haares lassen es wünschenswerth erscheinen, stets einen mit Feuchtigkeit gesättigten Raum zur Prüfung und Justirung des Hygrometers zur Hand zu haben und diese Ueberlegung hat zu folgender Einrichtung desselben geführt. Das gut gereinigte und durch häufiges und wechselweises Einführen aus dem Trocknen ins Feuchte gut präparirte Haar ist in einen Rahmen eingezogen von 20 bis 25 mm Länge. Es wird gespannt durch eine kleine Spiralfeder aus hartem Neusilberdraht, deren Kraft durch Einhängen eines Gewichtchens von 0,5 Gramm in das Ohr, in