

Zeitschrift: Die Eisenbahn = Le chemin de fer
Herausgeber: A. Waldner
Band: 6/7 (1877)
Heft: 15

Artikel: Ueber Bergbahnsysteme vom Standpunkte der theoretischen Maschinenlehre
Autor: Fliegner, A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-5847>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

INHALT. — Ueber Bergbahnsysteme, vom Standpunkte der theoretischen Maschinenlehre, von Professor A. Fliegner in Zürich. (Mit einem Cliché). — Notiz über Schmirgel-Schleifräder, mitgetheilt vom Ingenieur Dr. Röhrig in Hannover. — Vereinsnachrichten. Gesellschaft ehemaliger Studirender des Eidgenöss. Polytechnikums in Zürich. Correspondenz aus Boston U. St. A. — Eisenpreise in England, mitgetheilt von Herrn Ernst Arbenz. Verschiedene Preise des Metallmarktes loco London. — État des Travaux du grand tunnel du Gothard au 30 septembre 1877. — Kleinere Mittheilungen. — Einnahmen der Schweizerischen Eisenbahnen.

Ueber Bergbahnsysteme,

vom Standpunkte der theoretischen Maschinenlehre.

Von Prof. A. Fliegner in Zürich.

(Fortsetzung.)

IV. Das Wetli'sche System.

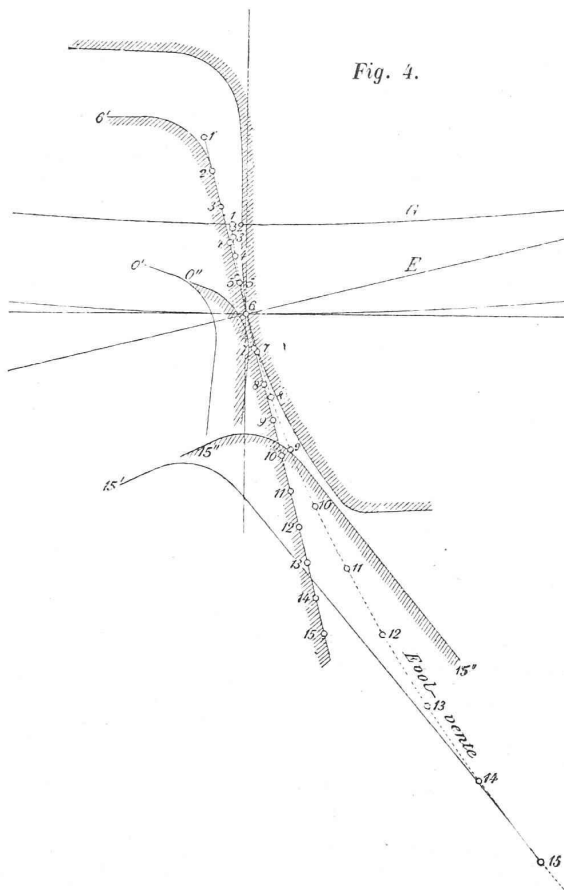
Von dem bei diesen Untersuchungen eingenommenen Standpunkte aus ist das Wetliche Eisenbahnsystem dem zuletzt untersuchten gemischten Zahnradsystem ganz ähnlich, es benutzt nämlich auch die Adhäsion und daneben ein zahnstangenartiges Fortbewegungsmittel. Ich könnte mich daher sehr kurz fassen: nur die Abweichungen besprechen und im Uebrigen auf das Frühere verweisen. Die neulichen Vorgänge auf der theilweise nach diesem System gebauten Bahn von Wädensweil nach Einsiedeln veranlassen mich aber, näher darauf einzugehen und einige falsche Anschauungen, die über dasselbe ausgesprochen worden sind, zu berichtigen.

Nachdem Herr Wetli 1868 in einer Schrift: „Grundzüge eines neuen Locomotivsystems für Gebirgsbahnen u. s. w.“ mit seinen Vorschlägen an die Oeffentlichkeit getreten war und sich die Herren Professoren am eidgenössischen Polytechnikum, Culmann, Pestalozzi, Veith und Zeuner in auf Anordnung des hohen schweizerischen Bundesrathes abgegebenen Gutachten über das mechanische Princip dieser Erfindung sehr günstig ausgesprochen hatten, wurde zunächst

eine kurze Versuchsstrecke auf der projectirten Bahn Wädensweil-Einsiedeln nach diesem System gebaut, um festzustellen, ob gewisse Bedenken, die vom Standpunkte des Bahnbaues aus gemacht worden waren, gerechtfertigt seien, oder nicht. Die im Frühjahr 1874 angestellten Versuche fielen günstig aus, so dass beschlossen wurde, die ganze Bahn, soweit sie in einer stärkeren Steigung lag, nach dem Wetlichen System auszubauen. Im Herbst 1876 war dieselbe so weit vollendet, dass die Probefahrten beginnen konnten. Dieselben sind nicht gelungen und haben mit dem bekannten Unglücke vom 30. November für einstweilen ihren Abschluss gefunden. Die Gründe dieses ungünstigen Erfolges sollen weiterhin auch mit angedeutet werden.

Das dem Wetlichen Bahnsystem eigenthümliche Fortbewegungsprincip lässt sich am einfachsten aus dem Zahnrade der vorigen Systeme herleiten, man braucht nur zunächst anstatt der zur Längsrichtung der Bahn senkrechten Zähne von Zahnrad und Zahnstange schräge Zähne anzuwenden. Um aber keine ununterbrochenen Seitenpressungen zwischen den Spurkränzen der Locomotivräder und den Schienen zu haben, sind die Zähne doppelt vorhanden, je zwei symmetrisch zur Bahnachse geneigt. Die Zähne sind an der Zahnstange geradlinig gemacht, dann werden die Zähne des Rades Schraubengänge. Man hätte also eigentlich Whitesche Räder. Herr Wetli vereinfacht die Construction aber noch dadurch, dass er das Rad sehr breit macht, so dass es walzenförmig wird. Dann kann die Anzahl der Zähne bedeutend verringert werden. Bei der neuen Ausführung waren an der Walze nur drei schraubenförmig gewundene Zähne auf jeder Seite. Die Zähne der Zahnstange stellt man dann aus einzelnen Schienen her, die natürlich genügend fest unter sich verbunden und in ihrer Lage gegenüber den Laufschiene gesichert sein müssen. Das soll zunächst auch als erreicht angenommen werden.

Würde man nun den Schraubengang und die schräge Mittelschiene so formen, dass eine zur Schraubenachse normale Ebene aus beiden zusammenarbeitende Profile von Zahnrad und Zahnstange heraus schneiden würde, so hätte man die Verhältnisse des vorigen gewöhnlichen Zahnrades, nur auf der einen Seite mit dem sanfteren Gange der schrägen Zähne, auf der anderen dagegen mit durch die Keilwirkung der beiden geneigten Berührungsebenen vermehrter Zahnreibung.



Man müsste natürlich, um einem Senken der Walze in Folge von Abnutzung der Locomotivräder Rechnung zu tragen, eine Evolventenverzahnung anwenden. In Fig. 4 ist eine solche angedeutet. T ist der Theilkreis des Rades, der Halbmesser desselben ist der letzten Ausführung entsprechend gleich $445 \frac{m}{m}$ gewählt worden. H bedeutet die Theilrisslinie der Zahnstange, G den Grundkreis der Evolvente. Die Evolvente selbst ist durch die gestrichelte, die Punkte 1 bis 15 verbindende Linie dargestellt. Das Profil des Zahnes der Stange ist ausgezogen und auf der linken Seite schraffirt. Diejenigen Punkte beider Profile, die beim Zusammenarbeiten in Berührung treten würden, sind mit gleichen Nummern bezeichnet. E , die Tangente an den Grundkreis der Evolvente vom Berührungspunkte von T und H aus, würde die Eingriffslinie sein, wenn bei fest gelagertem Rade die Zahnstange längs H fortbewegt würde. (Es soll ausdrücklich noch einmal hervorgehoben werden, dass die Figur nicht ein Querschnitt senkrecht zur Richtung der schrägen Mittelschiene ist, sondern ein Schnitt mit einer Normalebene zur Schraubenachse, oder, was dasselbe ist, mit einer Verticalebene parallel zur Längsrichtung der Bahn.) Innerhalb des Grundkreises müsste die Walze natürlich so weit ausgenommen werden, dass der Kopf der Schiene Platz hat. Die betreffenden Constructionslinien sind, um die Figur nicht zu überladen, fortgelassen.

Eine solche Verzahnung würde aber den wesentlichen Vorzug des Wetli'schen Systems nicht zur Geltung kommen lassen, die Möglichkeit nämlich, die Zahnreibung fast ganz zu beseitigen. In Folge der schrägen Stellung der Zähne und des daherigen continuirlichen seitlichen Fortrückens eines Berührungspunktes kann man in jedem der unendlich vielen nebeneinander liegenden Querschnitte die Berührungsstelle, mathematisch gesprochen, auf einen Punkt reduciren. Dabei ist es für den richtigen Eingriff ganz gleichgültig, welchen Punkt der Evolvente man dazu wählt, weil auf der ganzen Länge derselben ein genaues Abwälzen des Theilkreises auf der Theilrisslinie gesichert ist. Nimmt man aber den Berührungspunkt ausserhalb des Theilkreises an, so findet in ihm ein gegenseitiges Gleiten statt, welches Arbeitsverluste zur Folge hat, wie bei der Zahnreibung, wenn auch unter Umständen etwas geringere. Legt man den Berührungspunkt dagegen genau in den Theilkreis (Punkt 6 der Fig. 4), so befinden sich die beiden Flanken bei der Berührung in relativer Ruhe, es wird also keinerlei Arbeitsverlust in dieser Hinsicht auftreten. Um eine solche Punktberührung zu erreichen, hat man nur nöthig, die Flanke des Walzenzahnes nach einem Profil zu formen, welches die Evolvente im Punkte 6 berührt, sonst aber ganz rechts von ihr liegt. In Fig. 4 ist ein solches Profil gezeichnet und an seiner rechten Seite schraffirt. Da in Wirklichkeit eine eigentliche Punktberührung natürlich nicht möglich ist, sondern sich in Folge der Elasticität der Materialien eine schmale Berührungsfläche bildet, so wird auch so ein geringes gegenseitiges Gleiten eintreten. Dasselbe ist aber nur sehr unbedeutend und verursacht also auch nur sehr kleine Arbeitsverluste, jedenfalls viel geringere, als die Zahnreibung einer gewöhnlichen Zahnstange. Da übrigens der Punkt 6 des Zahnes sich dem Punkte 6 der Schiene von oben her nähert und sich nach der Berührung wieder nach oben zu entfernt, so wird sich diese geringe Zahnreibung auch als eine Rotation um die jeweilige Berührungsnormale auffassen lassen.

Neben dieser Zahnreibung tritt noch eine Art rollender Reibung auf, da der Berührungspunkt auf der Schiene in horizontaler Richtung, an der Walze in einer Schraubenlinie fortrückt, ohne dass doch in der Richtung des Fortrückens auch ein Gleiten stattfindet. Der Widerstand der rollenden Reibung ist aber bekanntlich sehr gering.

Aus diesen Gründen muss man vom Standpunkte der Arbeitsausnutzung die Wetli'sche Schraubenwalze als „das beste bis jetzt erfundene künstliche Fortbewegungsmittel“ bezeichnen. Die oben erwähnten Gutachten der Professoren am eidgenössischen Polytechnikum gelangen denn auch, wie schon angedeutet, übereinstimmend zu demselben günstigen Urtheile über das Princip dieses Systems.

Das Güteverhältniss des Wetli'schen Systems würde sich auf dieselbe Art berechnen lassen, wie für das gemischte Zahnradsystem, nur müsste anstatt der dortigen Zahnreibung der kleinere Widerstand eingesetzt werden, welchen das in Wirklichkeit auch mit ganz schwacher Zahnreibung verbundene Abrollen der Walze an den Mittelschienen hervorbringt. Da aber dieser Widerstand durch Versuche noch nicht

festgestellt ist, so sollen die Rechnungen nicht noch einmal durchgeführt, sondern die für das gemischte Zahnradsystem gefundenen Werthe als auch hier geltend angenommen werden. Nur ist dabei festzuhalten, dass das Wetli'sche System wirklich etwas günstiger ist.

Gleich wie beim Zahnradsystem muss natürlich auch beim Wetli'schen dafür gesorgt werden, dass die Walze nicht etwa aufsteigen und ausser Eingriff kommen kann. Die dabei wirkenden Kräfte sind hier ganz ähnliche, wie dort, nur die Reibung ist durch die beiden gegeneinander geneigten Berührungsflächen vergrößert; es wird also Wetli's Walze unter sonst gleichen Umständen stärker zu belasten sein, als das Rad des gemischten Zahnradsystems. Nimmt man den Winkel beider Mittelschienen, wie bei der Wädensweiler Ausführung, gleich 50° , $\tan \beta = 4$, wie in der Figur, $f = 0,15$, so wird der in die früheren Formeln für gewöhnlichen Zahneingriff einzusetzende Reibungswinkel hier $\mu_0 = 19^\circ 5' 54''$, gegen $\mu = 8^\circ 1' 30''$ beim Zahnradsystem, und aus Gl. 57 folgt für dieselben Grenzsteigungen, wie dort:

$w =$	5 Kilom.	10 Kilom.	15 Kilom.	20 Kilom.
$\left(\frac{X}{Q}\right)_m =$	0,765	0,382	0,305	0,218

also rund etwa $1\frac{1}{2}$ mal so gross, als beim Zahnradsystem. Für die kleinsten Geschwindigkeiten und stärksten Steigungen würde es kaum mehr möglich sein, die Walze genügend zu belasten; bei 10 Kilometern dagegen wäre es schon möglich, und man könnte das System also principiell bis zu Steigungen von über 250 ‰ brauchen, wirklich natürlich nur bis etwa 150 ‰ , weil sonst das Güteverhältniss zu klein ausfallen würde (vergleiche die Tabelle über das gemischte Zahnradsystem).

Sollte es nicht möglich sein, die Walze so gut geschmiert zu erhalten, dass der Reibungscoefficient den Werth von $0,15$ nicht übersteigen kann, so werden die Verhältnisse natürlich ungünstigere. Setzt man $f = 0,2$, so wird $\mu_0 = 24^\circ 47' 2''$ und es findet sich für:

$w =$	5	10	15	20 Kilom.
$\left(\frac{X}{Q}\right)_m =$	0,996	0,467	0,368	0,324

Dann könnte man die steilsten Strecken überhaupt nicht mehr befahren. Weniger steile dagegen, bei denen eine Geschwindigkeit von 10 Kilometern und mehr zulässig wäre, würden immer noch möglich bleiben, da man auf die Walze jedenfalls reichlich den dritten Theil bis nahezu die Hälfte des gesammten Locomotivgewichtes bringen kann.

Für die Verhältnisse der Wädensweiler-Einsiedeln-Bahn rechnet man einfacher direct. Dort ist $Q = 25,5$ Tonnen, T beabsichtigte Wetli bei einer Geschwindigkeit von 15 Kilometern bis auf das dreifache Locomotivgewicht zu steigern. Mit den für diese Bahn gebauten Locomotiven ist das auch wirklich erreicht, ein Beweis, dass dieselben leichter sind, als etwa $0,1$ Tonnen pro effective Pferdestärke. Diese Reduction des Gewichtes ist namentlich eine Folge der ausgedehnten Anwendung von Stahl. Es würde also

$$T = 3 Q = 76,5 \text{ Tonnen}$$

in die Rechnung einzuführen sein.

$$i \text{ ist gleich } 50 \text{ ‰, also } \alpha = 2^\circ 51' 45''.$$

Setzt man dann wegen den scharfen Curven (bis 300 ‰) den Zugwiderstand in der Horizontalen gleich $0,01$, so geht Gl. 54 mit Gl. 44 in die angenäherte über:

$$P = (0,05 + 0,01) T + 0,05 Q + \frac{1}{3} (Q - X) = \frac{\sin(\beta - \alpha - \mu_0)}{\cos(\beta - \mu_0)} X.$$

Damit folgt für $\tan \beta = 4$ und

$$f = 0,15: X = 7,92 \text{ Tonnen} = 0,311 Q,$$

$$f = 0,20: X = 9,42 \text{ Tonnen} = 0,369 Q,$$

also mögliche Belastungen, und nur wenig grösser, als sie vorher allgemein berechnet wurden. Für den bei der neuen Ausführung benutzten Winkel β , $\tan \beta$ ungefähr 2, folgt dagegen bei

$$f = 0,15: X = 11,07 \text{ Tonnen} = 0,438 Q;$$

$$f = 0,2: X = 12,80 \text{ Tonnen} = 0,502 Q,$$

Belastungen, die schon schwerer erreichbar sind. Wirklich war aber X nur $5,5$ Tonnen, also viel zu klein.

Die Entwicklung setzt allerdings voraus, dass die Berührung der Walze und Mittelschiene stets an einer Stelle stattfindet, an welcher der zu Grunde gelegte Winkel β wirklich noch vorhanden ist. Ob das aber auch geschieht, hängt wesentlich von der Form der Zähne zu beiden Seiten des normalen Berührungspunktes und von der Genauigkeit der Theilung ab.

Nimmt man zunächst eine mathematisch genaue Theilung an, so wird, wenn der nächste Zahn mit der nächsten Mittelschiene in Eingriff kommt, die Berührung sofort richtig im Punkte 6 (Fig. 4) beginnen. Legt man dann, so lange zwei Zähne im Eingriffe sind, durch die beiden Berührungspunkte zwei Schnittebenen normal zur Schraubenachse, so fallen die Projectionen der beiden Paare von Schnittcurven auf eine dieser beiden Ebenen, oder eine parallele, genau zusammen. Die weitere Form der Zahnprofile ist dann ganz beliebig, sofern nur die Punktberührung gesichert bleibt.

Ist dagegen die Theilung fehlerhaft, so kann man sich die beiden Schnittebenen doch immer parallel so verschoben denken, dass sich die Schnitte der Zähne oder der Schienen decken. In der Fig. 4 ist Zusammenfallen der Zahnflanken vorausgesetzt. Ferner stellt man sich dann die Sache am einfachsten in der Weise vor, dass man das Rad absolut festgehalten denkt, und dafür die Zahnstange so bewegt, dass sich ihre Gerade H auf dem Theilkreise T abwälzt. Ist nun die Ungenauigkeit der Theilung zunächst von der Art, dass sich der Schnitt der Zahnstange von der Zahnflanke der Walze entfernt, so wird nach Aufhören des Eingriffes an der einen Schiene eine kleine Zeit gar kein Eingriff vorhanden sein, bis sich der nächste Zahn wieder angelegt hat. Bei der Thalfahrt wird das im Allgemeinen nach einem Gleiten des ganzen Zuges der Fall sein, bei der Bergfahrt dagegen nach einem geringen Schleudern von Triebädern und Walze. Im letzten Falle namentlich wird das Anlegen mit einem kleinen Schlage erfolgen, der aber unmöglich intensiv oder irgendwie gefährlich sein kann, da der Betrag der Drehung beim Schleudern nie gross ausfällt. Und das noch um so weniger, als dazu die Theilung bei beiden zusammengehörenden Mittelschienen im gleichen Sinne abweichen müsste.

Bei der nicht besonders genau gelegten 1874er Probestrecke hat sich nie ein daher rührender Schlag bemerklich gemacht.

Nähert sich dagegen in Folge von ungenauer Theilung die Schnittlinie mit der Schiene der Zahnflanke, so wäre ein Aufsitzen der Walze auf die Schienen, unter Umständen sogar ein Herausheben derselben denkbar. Dabei sind aber die Verhältnisse bei der Bergfahrt und Thalfahrt verschieden.

Bei der Bergfahrt würde ein solches Aufsitzen eintreten können, wenn die Theilung der Zahnstange gegenüber derjenigen der Walze zu gross wäre. Ist die Abweichung keine bedeutende, so greift noch immer zuerst die Wurzel des Zahnes an dem geradlinigen Theile des Schienenprofils an. Die Verhältnisse der Figur gestatten eine Ungenauigkeit von etwa $1,5 \text{ mm}$, wobei immer noch der ungefähr im Grundkreise der Evolvente liegende Punkt des Profils zuerst zum Eingriffe kommen würde. Bei grösseren Abweichungen würde der Zahn dagegen weiter aussen zu berühren beginnen, und zwar an der Abrundung des Schienenkopfes. Der mit 0' bezeichnete Linienzug stellt eine frühere Position der Schiene gegenüber dem Zahne bei normaler Theilung vor. Die links schraffierte, mit 0'' bezeichnete Linie würde einer um 5 mm zu grossen Theilung entsprechen. Dabei würde nach einer geringen Drehung aus der gezeichneten Lage die Berührung in der Nähe des Punktes 6 des Zahnes beginnen, und zwar an einer Stelle der Abrundung der Schiene, deren Neigung vielleicht schon etwas zu schwach sein könnte. Die Walze würde sich also etwas heben. Bald aber würde sie bei weiterer Bewegung Punkte treffen, in denen die Tangente hinreichend steil ist, um die Walze wieder hinuntersinken zu lassen. Ein vollständiges Aufsteigen wird also nicht eintreten.

Bei der Thalfahrt sind die Verhältnisse wesentlich günstigere. Dabei wäre für den vorliegenden Fall die Theilung zu klein vorauszusetzen. Der Eingriff beginnt dann mit der Spitze des Walzenzahnes am unteren Theile der Schiene, also an einer Stelle, an der sicher der richtige Winkel β vorhanden ist. Die Fehler der Theilung müssten schon sehr gross sein, damit der Zahn an der oberen Abrundung der Schiene aufsitzen und die Walze aufsteigen könnte. Es ist in 15' (Fig. 4) die dem Punkte 15 der Evolvente entsprechende normale Stellung des Schienenprofils eingezeichnet; 15'', die auf der linken Seite schraffierte Linie, ist um 10 mm dagegen ver-

schoben, und damit ist die Grenze des möglichen Fehlers noch nicht erreicht.

Es sind also bei dem in der Figur angenommenen Profil Abweichungen von der richtigen Theilung um mehrere Millimeter zulässig, mindestens 5 mm zu viel für die Bergfahrt, mehr als 10 mm zu wenig für die Thalfahrt. Ein Aufsteigen der Walze wird trotzdem nicht stattfinden, der Betrieb also auch keineswegs gefährlich oder gar unmöglich werden. Die 1874er Proben haben das auch vollständig bestätigt. Damals sollen die Differenzen normal zu den Mittelschienen bis $2,5 \text{ mm}$ betragen haben. Die Abweichung parallel zur Bahn gemessen ist dann natürlich grösser. Hat der Winkel der Mittelschienen, wie in Wetli's erster Veröffentlichung angenommen war, $40^\circ 28'$ betragen, so würde der Theilungsfehler in einem Schnitt, wie in Fig. 4, sogar auf über 7 mm angestiegen sein. Trotzdem sind die Fahrten stets ohne jeden Unfall ausgeführt worden, sogar ohne dass man auf der Locomotive irgend etwas von diesen Fehlern bemerkt hat.

Bei der eben vorgenommenen Bestimmung der zulässigen Abweichung in der Theilung ist auf die Elasticität der Materialien noch gar keine Rücksicht genommen worden; und diese gestattet eine weitere Vergrösserung des Fehlers, welche sich allerdings der numerischen Berechnung entzieht. In dieser Richtung mag nur erwähnt werden, dass die Zahnstangen der Zahnradbahnen, die eigentlich mathematisch genau sein sollten, wirklich Fehler von einigen Millimetern zeigen, ohne dass daraus irgend eine Gefahr oder auch nur eine Unbequemlichkeit entsteht. Das erste Legen der Mittelschienen beim Wetli'schen System ist nun, wie die neue Ausführung zeigt, so genau möglich, dass die entwickelte Fehlergrenze noch lange nicht erreicht wird. Ob sich die genaue Lage trotz der gegenseitigen festen Verbindung stärker verziehen kann, lässt sich jedenfalls nur durch die Erfahrung entscheiden. Ein öfteres Controlliren und Reguliren würde den Betrieb allerdings vielleicht zu sehr vertheuern, die Sicherheit dagegen würde kaum darunter leiden.

Aus dem Umstande, dass leichter zu kleine Theilungen bei der Thalfahrt überwunden werden können, als zu grosse bei der Bergfahrt, wird noch beiläufig folgen, dass, wenn bei gewissen Stellen, z. B. bei längeren Brücken, die continuirliche Verbindung der Mittelschienen unterbrochen werden muss, es besser sein wird, die Schienen etwas näher aneinander zu legen; jedenfalls nicht weiter auseinander, als es der normalen Theilung entspricht.

Es könnte vielleicht scheinen, als ob das öftere Aufsteigen der Walze bei den 1876er Versuchen einen practischen Gegenbeweis gegen diese Schlussfolgerungen bilden würde. Dabei ist aber zu beachten, dass, wie schon angedeutet wurde, die Belastung der Walze gegenüber dem benutzten Winkel β viel zu klein war, dass dieser Winkel β überhaupt so klein gewählt worden ist, dass es kaum möglich sein wird, die für ihn nöthige Belastung auf die Walze zu bringen. Ferner liegt der Berührungspunkt von Walze und Mittelschienen über dem Theilkreise, so dass bei der Bergfahrt der Zahn der Walze an den Mittelschienen nach unten gleiten musste. Bei der Maximalzuglast reicht die Belastung der Walze auch kaum aus, diese Reibung zu überwinden, der Berührungspunkt muss daher immer höher rücken, bis schliesslich die Walze entgleist. Endlich ist noch die sehr ungünstige neue Zahnform zu erwähnen. Der Eingriff ist viel zu gering, und die Zähne in der Nähe des normalen Berührungspunktes nach aussen so stark abgerundet, dass schon bei ganz unbedeutenden Fehlern in der Theilung die Neigung an der ersten Berührungsstelle so klein wird, dass die Walze aufsteigen muss.

Die Schwierigkeit, und schliesslich die Unmöglichkeit, die Walze über ein gewisses Mass zu belasten, hat zur Folge, dass grössere Steigungen mit dem Wetli'schen System nicht befahren werden können. Aber auch für zu geringe Steigungen ist dasselbe nicht geeignet wegen der Gefahr eines Schleuderns der Walze. Da die Mittelschienen weit auseinander liegen, so wird ein beginnendes Schleudern nicht immer gleich im Keime erstickt werden, wie es bei der Zahnstange der Fall sein würde, bei welcher der Zahn des Rades in der Lücke der Stange einen nur geringen Spielraum hat. Schleudert aber die Wetli'sche Walze einmal, so kann sie sich wegen ihrer grossen Masse nur schwerer wieder beruhigen, und wenn sie dann auf Mittelschienen trifft, so sind Brüche unvermeidlich. Es ist also von Wichtigkeit, zu untersuchen, wann etwa ein Schleudern auftreten kann. In Fällen, in denen es nicht mit Sicherheit zu vermeiden gehen würde, dürfte man das Wetli'sche System nicht anwenden.

Die erste in dieser Richtung gefährliche Stelle befindet sich bei der Einfahrt in die mit Mittelschienen versehene Strecke. Da aber das Schleudern eine Folge davon ist, dass der Dampfdruck im Cylinder gegenüber dem Reibungswiderstande am Umfange der Triebäder zu gross ist, so hat man nur dafür zu sorgen, dass das nicht eintritt. Dazu wird genügen, dass man den Regulator nicht etwa weiter öffnet, sondern lieber mehr schliesst, als vorher auf der weniger steilen Strecke, auf der die Adhäsion allein ohne Schleudern gewirkt hatte. Wird dann mit zunehmender Steigung der Zugwiderstand für die Adhäsion zu gross, so gleiten die Triebäder ohne ein eigentliches Schleudern langsam zurück, bis die nun gesenkte Walze sanft zum Eingriff kommt. Die 1874er Proben haben das vollkommen bestätigt. Ist aber der richtige Eingriff einmal hergestellt, so kann die Walze bei entsprechender Zahnform und Belastung nicht aufsteigen, ein Schleudern und Zerschlagen von Dreiecken ist also auch auf der weiteren Fahrt nicht mehr möglich.

Hierbei ist allerdings vorausgesetzt, die Walze müsse in Thätigkeit kommen; und das wird stets geschehen, wenn entweder der Zug so schwer ist, dass die Adhäsion allein zu seiner Fortbewegung nicht ausreicht, oder wenn bei leichteren Zügen die Triebäder sich schon so weit abgenutzt haben, dass ihr Umfang kleiner geworden ist, als derjenige des Theilkreises. Sind dagegen die Züge leichter und die Triebäder noch grösser, so wird die Walze leer mitgenommen werden, bis sie an der hinteren Seite der Schiene zum Anliegen kommt. Dann wird sie je nach der Belastung der Walze und nach der Form der Schiene auf der Rückseite und Zahnflanke entweder die Triebäder zum Schleifen zwingen, oder über die Schiene steigen und wieder leer mitgehen, bis sie die nächste Schiene erreicht hat u. s. w. Das ist bei den letzten Fahrten auch beobachtet worden. So lange nun die Adhäsion allein ausreicht, wäre es überhaupt gar nicht nöthig die Walze zu senken. Aber auch wenn sie gesenkt ist, werden keine Dreiecke zerschlagen werden, da in diesem Falle der Regulator mit Rücksicht auf die einzuhaltende normale Geschwindigkeit nicht weit genug geöffnet ist, um ein Schleudern der Triebäder hervorzubringen.

Eine wirkliche Gefahr in dieser Richtung ist dagegen vorhanden, wenn die Züge gerade so schwer sind, dass die Adhäsion ungefähr bis zur Grenze beansprucht wird, wenn also die Walze gesenkt bleiben muss, ohne doch ununterbrochen in Thätigkeit zu sein. Dieser Fall würde nun gerade bei den geringeren Steigungen vorliegen. Da Adhäsion und Zugwiderstand keine absolut constanten Kräfte sind, so wird dann die Adhäsion bald ausreichen, bald nicht, und im letzteren Falle würde der hier weiter geöffnete Regulator ein Schleudern erzeugen können. Herr Wetli scheint allerdings sein System auch an dieser Grenze benutzen zu wollen, indem die Walze nur aushelfen soll, wenn die Adhäsion nicht ausreicht. Eine solche Anwendung des Systems müsste aber als gefährlich, also unzulässig bezeichnet werden. Die Strecke Wädenswil-Einsiedeln mit ihrer Steigung von nur 50‰ ist eigentlich für ein besonderes System gar nicht hinreichend steil, es wird vielleicht schwer halten, nur Züge zu bilden, so leicht, dass die Adhäsion sicher genügt oder so schwer, dass die Walze jedenfalls in Thätigkeit treten muss. Bei steileren Bahnen dagegen kann man auch bei geringerem Verkehr die Züge hinreichend schwer machen, und dann ist ein Aufsteigen der Walze, ein Schleudern der Triebäder und ein Zerschlagen von Dreiecken nicht möglich.

Beim Einfahren in die Strecke mit Mittelschienen auf der Thalfahrt wäre zwar auch dann zu befürchten, dass die Walze unter Umständen nicht gleich richtig eingreift, wodurch der Zug vielleicht zu sehr in Schwung kommen und nach einem Aufsteigen der Walze oder einem Zerschlagen von Dreiecken schliesslich doch verunglücken könnte. Diese Gefahr würde vorhanden sein, wenn man das starke Gefälle mit einem nur ganz kurzen Uebergange an das geringere Gefälle ohne Mittelschienen anschliesst. Man kann dieselbe aber auch sehr leicht vollständig beseitigen, wenn man den Uebergang hinreichend allmählig macht und noch dafür sorgt, dass die Walze schon auf einem Gefälle, auf welchem die Adhäsion allein den Zug noch zu halten im Stande ist, zum Eingriff kommen muss. Dazu genügt es, wenn man die Mittelschienen ein Stück weit näher aneinanderlegt, ähnlich wie auch bei den Zahnstangen-Einfahrten der Zahnradbahnen aus diesem Grunde Abweichungen in der Theilung angewendet werden. Bei Wetli sind, wie früher nachgewiesen wurde, für die Thalfahrt zu kleine Theilungen von über 10 $\frac{m}{m}$ möglich. Ausserdem könnte man aber zur Verringerung der Länge dieser Strecke an der Walze 2 bis 3 mal so viel Zähne anbringen, als die Mittel-

schienen erfordern. Eine Gefahr ist also bei richtiger Construction auch hier nicht vorhanden. Höchstens der Kostenpunkt könnte in Frage kommen, auf diesen soll aber später noch ganz kurz hingewiesen werden.

Ausser den in dem Bisherigen schon erledigten Einwänden gegen das Wetli'sche System sind noch einige andere gemacht worden, auf die auch noch kurz eingegangen werden soll.

So dient als Angriffspunkt auch gegen das Wetli'sche System das Zusammenarbeiten von Walze und Adhäsion, von dem behauptet wird, dass es bei ungleichen Durchmessern von Triebädern und Theilkreis mit zu bedeutenden Abnutzungen und Arbeitsverlusten verbunden sei. In dieser Richtung sind aber die Verhältnisse hier genau dieselben, wie beim gemischten Zahnradsystem, so dass alles dort Gesagte auch für das Wetli'sche System seine Geltung behält. Der Arbeitsverlust ist danach sehr klein.

Bei gewöhnlichen Locomotiven ist allerdings mit zunehmender Abnutzung der Triebäder eine gelegentlich nicht unbedeutende Vermehrung des Verbrauches an Brennmaterial beobachtet worden. Und da sich die verschiedenen Triebäder derselben Maschine nicht gleich stark abnutzen, also dann ähnlich mit einander arbeiten, wie die Wetli'sche Walze mit Rädern von abweichendem Durchmesser, so könnte diese Beobachtung als mit der eben ausgesprochenen Behauptung im Widerspruche stehend erscheinen. Es ist aber zu beachten, dass nicht nur die Abnutzung der verschiedenen Räder eine ungleiche ist, sondern dass sich auch jedes einzelne Rad um und abläuft, was einen unruhigeren Gang der Maschine, verstärktes Schlingern u. s. w. zur Folge hat. Auch soll dann meistens das ganze Triebwerk einermassen ausgelaufen sein, und das bringt natürlich ebenfalls Arbeitsverluste mit sich, wahrscheinlich auch öfters directe Dampfverluste an den Kolben, Schiebern, u. s. w.

Bei Bahnen mit so verschiedenen Steigungen wie die Linie Wädenswil-Einsiedeln, die Bahnen in Ostermündigen, Wasseralfingen, Arth-Rigi, Rorschach-Heiden, kommt man übrigens ohne besondere Arbeitsverluste überhaupt nicht durch. Entweder man muss mit dem System auch die Locomotive wechseln und dann je die eine unnöthig lange dienstbereit still stehen haben, oder, wenn man auch die steilere Strecke mit der Adhäsion allein befahren kann, so muss man auf der schwächeren Steigung eine für diese unnöthig schwere Locomotive mitschleppen, oder man muss einen Zahnstangenartigen Fortbewegungsmechanismus mit der Adhäsion kuppeln und die ange deuteten Arbeitsverluste mit in den Kauf nehmen, oder endlich muss eine Locomotive construirt werden, die auf den weniger steilen Strecken mit Adhäsion allein, auf den steileren mit einem Specialsystem allein arbeitet, was die Maschine aber complicirter macht und ein Wechseln des Systems während der Fahrt nicht gestattet.

Es ist auch behauptet worden, dass, wenn bei der Thalfahrt das Adhäsionsgewicht der Locomotive allein ausreichen würde und die Triebäder noch grösser wären, der Zug durch den Widerstand des Gleitens der Triebäder angehalten werden würde und man den Dampf arbeiten lassen müsste, um überhaupt hinunter zu kommen. Diese Behauptung beruht aber auf einer ganz bedeutenden Ueberschätzung des durch das nöthige Gleiten der Triebäder hervorgerufenen Reibungswiderstandes. Ihre Unrichtigkeit lässt sich am einfachsten in folgender Art nachweisen.

Da Räder und Walze gekuppelt sind, so kann man sie sich sämmtlich an derselben Achse vereinigt denken. Dann wirkt die zur Bahn parallele Schwerkraftscomponente des ganzen Zuges, vermindert um die Bahnwiderstände, durch die Achsbüchsenhalter auf die Achse jener Rädergruppe, u. z. nach abwärts, mit der Intensität P . Am Umfange der Triebäder wirkt der Reibungswiderstand gegen das Gleiten in der Stärke φQ auch nach abwärts, da die Räder nach aufwärts gleiten müssen. Die Rädergruppe stützt sich nun mit dem Zahne der Walze gegen die Schiene, so dass sich der Theilkreis vom Durchmesser D auf der Theilrissgeraden der Schienen abwälzt. Der jeweilige Berührungspunkt dieser beiden Linien ist dann als der momentane Drehpunkt anzusehen, um welchen die Kraft P im einen, φQ im entgegengesetzten Sinne zu drehen strebt. Das Moment von P ist dabei $\frac{1}{2} D P$. Der Durchmesser der Triebäder sei, wie früher, $(1 + \delta) D$, so ist der Hebelarm von φQ nur $\frac{1}{2} \delta D$ und das Moment dieser Kraft $\frac{1}{2} \delta D \varphi Q$. Damit nun wirklich ein Anhalten des Zuges sollte eintreten können, müsste das Moment des Reibungswiderstandes überwiegen, d. h. es müsste unter Fortlassung des Factors $\frac{1}{2} D$

$$\delta \varphi Q > P$$

sein. Je kleiner P ist, desto eher würde dieser Fall eintreten können, es soll also weiter nur die Locomotive allein betrachtet werden. Dann ist, wenn man den Bahnwiderstand zu $0,01 Q$ rechnet, angenähert $P = (\tan \alpha - 0,01) Q$. Ferner soll

$$\delta = 0,04, \quad \varphi = 1/3$$

vorausgesetzt werden. Die Bedingung für's Stehenbleiben schreibt sich dann, da Q fortfällt,

$$0,04 \cdot 1/3 > \tan \alpha - 0,01 \quad \text{oder} \\ \tan \alpha < 0,0233.$$

Bei einem Gefälle kleiner als etwa 20 bis 25 ‰ würde daher die leere Locomotive nicht mehr ohne Dampf abwärts fahren können, bei solchen Steigungen wendet aber Niemand ein besonderes Eisenbahnsystem an. Bei stärkeren Gefällen und bei angehängtem Zuge wird man also stets bremsen müssen. Bei der Berechnung ist noch der günstige Umstand gar nicht berücksichtigt, dass ein Theil des Locomotivgewichtes direct an der Berührungsstelle von Walze und Mittelschienen aufgenommen wird, was den Reibungswiderstand φQ verkleinert.

Um den vermeintlichen bedeutenden Arbeitsverlust durch Schleifen nicht genau gleich grosser Triebräder zu vermeiden, ist von mehreren Seiten, zuerst schon von Herrn Wetli selbst, die Anwendung von vier Cylindern vorgeschlagen worden. Nach den inzwischen mit den viercylindrigen Maschinen des Systems Fell*) gemachten Erfahrungen muss man diesen Vorschlag aber ganz entschieden verwerfen. Das Zusammenarbeiten zweier vollkommen unabhängiger Fortbewegungsmechanismen ist mit viel grösseren Arbeitsverlusten verbunden, als das geringe Schleifen der Triebäder bei Anwendung von nur zwei Cylindern. Man könnte zwar auf den steileren Strecken die Adhäsion ganz ausser Thätigkeit setzen, es würde aber doch der Arbeitsverlust am Triebwerke der verticalen Räder bleiben. Ein wichtigerer Gegengrund gegen diese Anordnung ist jedoch der, dass dann das Einfahren in die Strecken mit Mittelschienen muthwilligerweise gefährlich gemacht werden würde. Im Allgemeinen würde nämlich die Walze nicht von selbst und sofort in den richtigen Eingriff mit den Mittelschienen kommen, sie müsste vielmehr durch den Dampf erst hinein gedreht werden. Bei dieser Drehung hätte aber der Dampf nur die verhältnissmässig geringen Reibungswiderstände des Mechanismus, das Gleiten etwaiger seitlicher Unterstützungsräder der Walze und die Trägheit der Massen zu überwinden. Die geringste Unvorsichtigkeit im Oeffnen des Regulators, müsste also ein Schleudern der Walze und ein Zerschlagen von Mittelschienen oder der Walze selbst zur Folge haben.

Es sind auch Bedenken gegen die Widerstandsfähigkeit der Mittelschienen ausgesprochen worden, namentlich wegen der Stösse, die in Folge der störenden Bewegungen der Locomotive auf dieselben ausgeübt werden könnten. Die Geschwindigkeit aber, welche Wetli erreichen will, beträgt etwa 15 Kilometer pro Stunde; dieselbe erfordert bei einem Theilkreisdurchmesser der Walze von $0,890 \text{ m}$, wie bei der neuen Ausführung, noch nicht ganz 90 Umdrehungen in jeder Minute, während die Locomotiven sonst 150 bis 200 und mehr Umdrehungen in derselben Zeit machen, also im Mittel doppelt so viel. Bekanntlich sind nun die Kräfte, welche die hier allein in Betracht kommenden störenden Bewegungen des Zuckens und Schlingerns hervorbringen, dem Quadrate der minutlichen Umdrehungszahl proportional. Sie werden also, analoge Balancirung vorausgesetzt, hier nur den vierten Theil der bei gewöhnlichen Locomotiven auftretenden betragen. Ihr Einfluss kann daher kein bedeutender sein, jedenfalls kann durch sie keine Entfernung des Zahnes von der Mittelschiene bewirkt werden, denn dabei müsste die Locomotive an der anderen Mittelschiene hingeleiten und sich sammt dem Zuge nach vorwärts bewegen. Hierzu will ich noch anführen, dass ich gelegentlich eine zweiaxige Schnellzugslocomotive der schweizerischen Nord-Ost-Bahn nachgerechnet und gefunden habe, dass bei mathematisch genauem Zustande von Radumfängen und Schienen die Reibung zwischen den letzteren allein ausreichen würde, um ein Schlingern ganz zu verhindern. Die 1874er Probelocomotive hatte auch wirklich einen äusserst sanften Gang, sogar in einer Curve von nur 300 m Radius.

Es können allerdings, auch wenn das Wetlische System an passender Stelle angewendet wird, wie schon hervorgehoben wurde, kleine Schläge von der Walze gegen die Mittelschienen

vorkommen, z. B. wegen ungenauer Theilung. Heftig sind dieselben aber nicht, und es muss daher entschieden als möglich erklärt werden, den Unterbau genügend widerstandsfähig herzustellen. Bei den beiden bisherigen Ausführungen, 1874 und 1876, ist freilich das Schienenprofil nicht günstig; es hindert aber nichts, eine bessere Form walzen zu lassen. Dagegen würde die ungünstigere Beanspruchung der Querverbindungen auf Druck oder Zerknicken bleiben. Aber auch diese lässt sich unter Umständen vermeiden; man braucht nur die Spitze der Dreiecke nach unten zu kehren, dann treten in jenen Verbindungen Zugspannungen auf. In Gegenden mit starkem Schneefall würde allerdings die Reinigung bei dieser Anordnung weniger leicht sein.

Ob der Schnee überhaupt ein grosses oder gar, wie von einigen Seiten vermuthet wird, unübersteigliches Hinderniss bildet, lässt sich wohl nur an der Hand ganz specieller Erfahrung entscheiden.

Was die Abnutzung der Schienen anbetrifft, so ist schon in den Gutachten der Professoren des Polytechnikums hervorgehoben worden, dass diese Frage jetzt noch nicht mit irgend welcher Sicherheit beantwortet werden kann. Doch lässt sich immerhin folgendes vermuthen. Die Abnutzung ist eine Folge von Druck und gleichzeitiger Bewegung; sowie einer dieser Factoren verschwindet, verschwindet auch die Abnutzung. Das Profil von Walzenzahn und Mittelschiene kann man nun, wie nachgewiesen wurde, so construiren, dass fast gar keine gegenseitige Bewegung vorhanden ist, die Abnutzung der Mittelschienen ist also nicht als gross zu erwarten. Die Abnutzung der Laufschiene ist eine Folge des Gleitens der Räder in der Längs- und Querrichtung, letzteres beim Schlingern der Locomotive. Das Gleiten in der Längsrichtung dürfte bei Wetli im Mittel kaum grösser sein, als bei den gewöhnlichen Locomotiven, da bei diesen die Differenzen zwischen den Triebadumfängen verhältnissmässig dieselbe Grösse erreichen können, wie hier zwischen den Umfängen von Triebädern und Theilkreis. Das Schlingern der Locomotive ist dagegen bei Wetli durch die Mittelschienen wesentlich gehindert, ausserdem ist die Bewegung der Locomotive eine bedeutend langsamere, als sonst, das Gleiten in der Querrichtung dürfte sich also günstiger stellen. Möglich ist es allerdings, dass die Erfahrung anders spricht, die Gesetze der Abnutzung sind eben noch zu wenig bekannt. Ein Argument gegen das Wetlische System darf man aber jedenfalls jetzt noch nicht daraus herleiten.

(Schluss folgt.)

* * *

Notiz über Schmirgel-Schleifräder.

Mitgetheilt vom Ingenieur Dr. Röhrig in Hannover.

Zu den mancherlei nützlichen Lehren, welche die amerikanische Weltausstellung gegeben hat, gehört die durch letztere erlangte Kenntniss von der ausgezeichneten und erfolgreichen Anwendung der massiven Schmirgel-Scheibenräder in Amerika, sowie von der für die Anwendung der Räder geeignet construirten Maschinen.

Ein Correspondent der Londoner Times, welcher eingehende Berichte über das Maschinen-Departement der Ausstellung in Philadelphia geliefert hat, sagt darüber, dass die durch Anwendung der Schmirgel-Schleifräder erlangten Vortheile so gross wären, dass Meissel und Feile Gefahr liefen, für die meisten ihrer jetzigen Gebrauchszwecke, in Zukunft nicht mehr angewendet zu werden.

Zunächst dürfte wohl das Verdrängen der gewöhnlichen Schleifsteine durch die ungleich leistungsfähigeren Schmirgelräder erwartet werden, indem die letzteren unzweifelhaft die folgenden Vortheile darbieten.

Sie nehmen nur einen geringen Raum ein und können rasch und leicht montirt werden. Wegen ihrer grossen Festigkeit dürfen sie ohne Gefahr mit einer sehr grossen Geschwindigkeit laufen und indem sie durchweg aus eckigen Körnern eines Materials zusammengesetzt sind, welches an Härte nur dem Diamante nachsteht, schleifen sie bedeutend rascher als die wesentlich aus runden Kieselerdekörnern bestehenden gewöhnlichen Schleifräder. Während nun desshalb letztere von Zeit zu Zeit eines Schärfens bedürfen, bietet ein gutes Schmirgelrad stets, ohne Nachhülfe, eine frische, scharf schneidende Oberfläche. Dieser Vorzug der Oberfläche, verbunden mit der gestatteten grossen Geschwindigkeit, erleichtert ausserdem die Arbeit, indem der zu schleifende Gegenstand nur eines geringen Druckes gegen das Rad bedarf.

*) Vergleiche die betreffenden Mittheilungen in diesen Untersuchungen unter „System Fell“.