

# Dokumentation der Zahnradbahntechnik basierend auf Archiv- und Erfahrungswissen

Autor(en): **Berger, Peter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Ferrum : Nachrichten aus der Eisenbibliothek, Stiftung der Georg Fischer AG**

Band (Jahr): **86 (2014)**

PDF erstellt am: **27.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-391852>

## **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.

Peter Berger

# Dokumentation der Zahnradbahn- technik basierend auf Archiv- und Erfahrungswissen

Zur Sicherung des Wissens über die Technik der Zahnradbahnen setzte der Verband öffentlicher Verkehr (VöV) der Schweiz eine Arbeitsgruppe ein. Diese erarbeitete eine Dokumentation, die alle Bereiche dieser Technik umfasst und in erster Linie auf den Erfahrungen von Fachingenieuren beruht. Ihr wurden auch Berichte über Bau und Entwicklung solcher Bahnen, publiziert in der «Schweizerischen Bauzeitung», gegenübergestellt und, soweit sie noch aktuell waren, darin berücksichtigt.

The Swiss Association of Public Transport (VöV) established a working group dedicated to preserving the knowledge of cog railway technology. It compiled documentation that included all areas of this technology and that was based primarily on the experience of specialist engineers. This documentation was compared with reports on the construction and development of such railways, as published in "Schweizerische Bauzeitung", and, wherever still relevant, they were incorporated.

Zahnradbahnen sind so alt wie die mit Lokomotiven betriebenen Eisenbahnen. Anfangs wurde bezweifelt, dass eiserne Räder genügend Kraft auf eiserne Schienen übertragen könnten, um sich sicher fortbewegen zu können. So entstanden bereits 1812 für die erste Güterbahn Zahnradlokomotiven. Diese von John Blenkinsop und Matthew Murray für die Middleton Railway in England gebauten Lokomotiven benutzten die Zahnstange jedoch nicht, um Steigungen zu überwinden.



Lokomotive von Blenkinsop-Murray mit Kohlezug.

(Quelle: The Science Museum, London)



Von Riggenschbach gebaute Lokomotive für die Steinbruchbahn bei Ostermundigen.

(Foto: Peter Berger)

1848 baute die Madison & Indianapolis Railroad in den USA in eine 60 Promille steile Strecke, die mit den damaligen Lokomotiven kaum zu bewältigen war, eine Zahnstange ein. Die von Baldwin entwickelten Lokomotiven hatten voneinander unabhängige Antriebe für die Adhäsions- und die Triebzahnräder. Diese Anlage

entsprach in den Grundprinzipien bereits den heutigen Zahnradbahnen und bewährte sich zwanzig Jahre lang, bis solche Steigungen mit gewöhnlichen Lokomotiven überwunden werden konnten.<sup>1</sup> 1868 entstand, ebenfalls in den USA, die erste heute noch existierende Zahnradbahn am Mount Washington als Touristenbahn. Sie diente als Vorbild für die Rigibahn in der Innerschweiz.

Die weitere Entwicklung der Zahnradbahntechnik erfolgte vorwiegend in der Schweiz, wo Niklaus Riggenbach 1871, nach Jahren der Suche nach Finanzierungsmöglichkeiten, die Zahnradbahn auf die Rigi eröffnen konnte.

Aufgrund des wirtschaftlichen Erfolgs dieser Unternehmung entstand in der Folge rasch eine Vielzahl von Zahnradbahnen. Zahnstangen und Fahrzeuge wurden vorerst durch Riggenbach selbst in der Werkstätte der Schweizerischen Centralbahn in Olten erstellt. Später übernahm die durch ihn geführte Internationale Gesellschaft für Bergbahnen in Aarau die Produktion. Seine Lokomotiven waren funktional – aber ohne Spur von Ästhetik, wie das Beispiel der für die Erschliessung des Steinbruchs bei Ostermundigen gebauten Lokomotive zeigt. Ab 1874 wurden diese zu einem bedeutenden Teil durch die Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik (SLM) in Winterthur erbaut, die wesentlich mehr Wert auf eine gute Form legte. Die für den Gleisbau nötigen Komponenten wie Zahnstangen, Zahnstangenweichen usw. wurden bald durch die Firma von Roll in Gerlafingen angefertigt.

Bei einer langlebigen Technologie wie jener der Zahnradbahnen verliert sich die Entstehungsgeschichte rasch im Nebel der Vergangenheit. Dies umso mehr, als sich die Anforderungen an das sehr befriedigende System bis in die 1950er-Jahre kaum wesentlich änderten. Die Industrie baute neue Fahrzeuge anhand der Erfahrungen mit den alten, und die Bahnen betrieben ihre Züge auf die alte erprobte Weise. Den Grund für viele der verwendeten Konstruktionen kannte bald niemand mehr genau.

Erst in neuerer Zeit änderten sich die Voraussetzungen, bedingt durch den notwendigen Ersatz verschlissener Zahnstangen und den Druck zur Rationalisierung: Es mussten längere Züge schneller befördert werden können. Zudem stellten strengere Vorschriften der Aufsichtsbehörde höhere Anforderungen an Bremsen und Entgleisungssicherheit. Neue Fertigungstechnologien und Materialien führten zu bisher unbekanntem Problemen. Die steigenden Arbeitskosten verlangten dringend nach einer Reduktion des Personalaufwandes für Betrieb und Unterhalt der Fahrzeuge und Anlagen.

Nach dem Untergang der SLM in Winterthur und im



Die Rigibahn-Lokomotive Nr.7 von 1873 kurz vor Erreichen der Station Rigi Kulm. Dies war die erste von der SLM Winterthur, allerdings nach Zeichnungen von Niklaus Riggenbach gebaute Lokomotive.

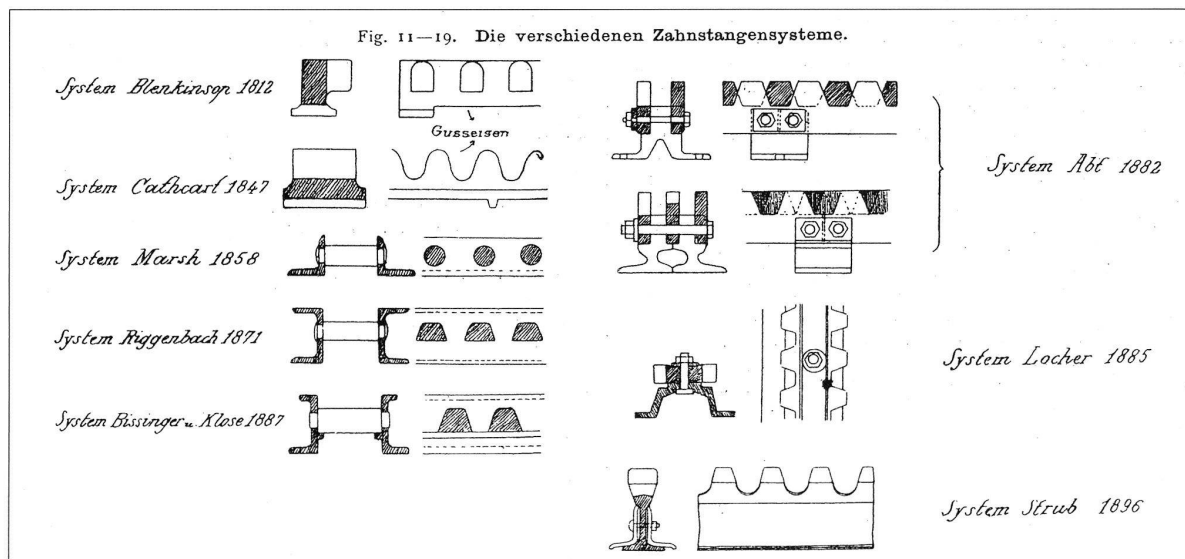
(Foto: Peter Berger)



Ein schwerer Zug der Brünigbahn im Anstieg auf der hundertjährigen Zahnstange oberhalb von Giswil.

(Foto: Peter Berger)

Hinblick auf die bevorstehenden Pensionierungen der verantwortlichen Ingenieure der wichtigsten Zahnradbahnen drohte das Know-how der Zahnradbahntechnik verloren zu gehen. Die Aufsichtsbehörde der Schweizer Bahnen, das Bundesamt für Verkehr, beauftragte deshalb 1998 den Verband öffentlicher Verkehr (VöV), das Wissen über die Zahnradbahntechnik zu sammeln. Der VöV bildete die «Arbeitsgruppe Zahnradbahnen» und übertrug ihr diese Aufgabe. Die Arbeitsgruppe unter Leitung von Peter Maurer, Vizedirektor der ehemaligen Furka-Oberalp-Bahn, bestand aus vier Vertretern von Bahnen mit verschiedenen Zahnstangensystemen, die den Übergang auf die neuen Verhältnisse mit den dadurch entstandenen Problemen persönlich miterlebt hatten. Ergänzt wurde die Gruppe durch einen pensionierten Ingenieur der SLM. Die Mitglieder dieser Gruppe waren persönlich an der Ausmerzungen der durch die neuen Techniken verursachten Probleme beteiligt gewesen. Durch die Tätigkeit bei Bahnen mit unterschiedlichen Betriebsverhältnissen vereinten sie ein breites Erfahrungsspektrum. Sie konnten für spezifische Pro-



bleme auf die Mithilfe von Fachspezialisten anderer Zahnradbahnen im In- und Ausland zurückgreifen. Dies ermöglichte das Erarbeiten allgemeingültiger Richtlinien.

#### Aufgabe der Arbeitsgruppe

Die Arbeitsgruppe stellte sich 1998 der Aufgabe, die Grundsätze der Zahnradbahntechnik zu definieren und die in neuerer Zeit aufgetretenen Mängel zu analysieren. Sie sollte feststellen, ob die ursprünglichen Konstruktionsgrundlagen der Gleisanlagen und Fahrzeuge noch gültig waren und ob durch die Anwendung modernerer Technologien neue Probleme auftraten. Die Arbeitsgruppe bemühte sich, bei allen wichtigen Fragen eigene Meinungen zu entwickeln und den weitverbreiteten Fehler zu vermeiden, scheinbar anerkannte Meinungen unbesehen zu übernehmen.

Es wurde beschlossen, alle wesentlichen Konstruktionsgrundlagen für Zahnradbahnen in einer Dokumentation festzuhalten, die alle zahnradspezifischen Bereiche umfassen sollte. Um das zu erreichen, schien es angebracht, die Überlegungen der ursprünglichen Promotoren nachzuvollziehen und diese mit der Praxis der Gegenwart zu vergleichen. Dadurch sollte es möglich sein, die nötigen höheren Ansprüche auf den ursprünglichen Erfahrungen aufzubauen. Die relevanten Dokumente konnten im Archiv des «Verkehrshaus der Schweiz» in Luzern eingesehen werden. Im Vordergrund stand das Studium der Jahrgänge 1874 bis 1882 der Zeitschrift «Eisenbahn», der Jahrgänge 1882 bis 1945 der Schweizerischen Bauzeitung sowie der Dokumente und Zeichnungen, die auf Niklaus Riggen-

bach zurückgehen. Daraus entstand eine 338 Seiten umfassende Dokumentation, die an die Mitglieder der Arbeitsgruppe abgegeben wurde.

Anhand der so gewonnenen Erkenntnisse konnte einerseits die Entstehungsgeschichte der Zahnradbahnen rekonstruiert und andererseits die Begründung für die gewählten technischen Lösungen nachvollzogen werden. Letzteres war ja der Grund für die Studie.

#### Die Entwicklungsgeschichte der Zahnstangen

Die Zähne der Zahnstange von Blenkinsop und Murray waren an einer Schiene angegossen. Dies verursachte eine einseitige Übertragung der Zugkraft und verunmöglichte einfache Weichenkonstruktionen.

Die Zahnstange von Cathcart entstand 1848. Sie war in der Gleismitte verlegt und nahm die heute übliche Lamellenzahnstange bereits vorweg.

Die von Sylvester Marsh konstruierte Zahnstange wurde 1858 patentiert. Diese wurde für die Mount-Washington-Bahn verwendet. Sie wies runde Zähne auf, bewährte sich jedoch trotzdem bis in die Gegenwart. Die Steinbruchbahn bei Ostermündigen war auch mit solchen Zahnstangen versehen.

Die daraus von Niklaus Riggenbach abgeleitete Zahnstange für die Rigibahn unterschied sich von der Konstruktion von Marsh durch trapezförmige Zähne, was Evolventen-Verzahnung und damit eine konstante Kraftübertragung ermöglichte. Diese Bauart erreichte die zweitgrösste Verbreitung aller Systeme.<sup>2</sup> Bis in die 1990er-Jahre entstanden zahlreiche Untervarianten davon.

Die von Roman Abt entwickelte Zahnstange sollte die bei der Rigibahn entstandenen Probleme mit Teilungsfehlern an den Zahnstangenstössen vermeiden, aber auch preisgünstiger sein als die Riggenbach-Zahnstange. Sie bestand aus drei (später nur noch zwei) nebeneinander verlegten schmalen Zahnstangen (Lamellen). Zähne und Stosslücken wurden dabei versetzt angeordnet. Diese Bauart erreichte weltweit die grösste Verbreitung.<sup>3</sup> Als Einziger verwendete Abt eine Zahnteilung von 120 mm anstatt der üblichen 100 mm.

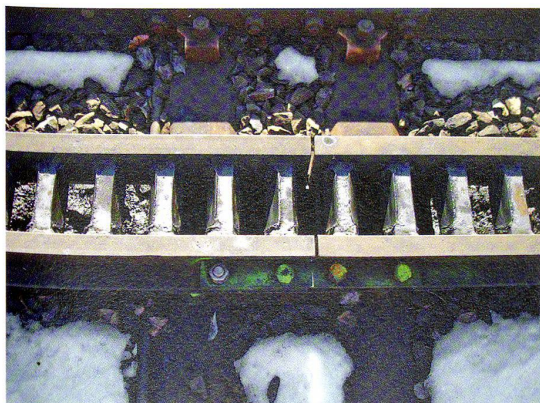
Die von Eduard Locher für die extrem steile, in schwierigem Gelände geplante Pilatusbahn gewählte Zahnstange basierte auf Vorschlägen des Basler Ingenieurs G. Stehlin.<sup>4</sup> Sie war und blieb eine Sonderlösung. Das gesamte technische Wissen darüber liegt ausschliesslich bei der Pilatusbahn.

Die von Emil Strub 1896 für die Jungfraubahn entwickelte Zahnstange benützte ein Schienenprofil, in wel-



**Korrektcr Eingriff eines Triebzahnrcdes in eine moderne Lamellenzahnstange bei der Dolderbahn. Wie vorgeschrieben, befindet sich mehr als ein Zahn gleichzeitig in Eingriff.**

[Foto: Peter Berger]



**Die Auswirkungen einer sich verändernden Stosslücke sind gut erkennbar. Typisch sind die stärkere Abnützung der Zähne neben dem Stoss und der Verschleiss an der falschen (der talseitigen) Zahnflanke.**

[Foto: Peter Berger]

ches die Zähne eingefräst wurden. Dieses konnte auch für eine Zangenbremse benützt werden, die den Schienenkopf umfasste und so ein Aufklettern der Zahnrcder verunmöglichen sollte. Sie entstand vermutlich als Weiterentwicklung der von Niklaus Riggenbach 1892 patentierten Zahnstange für einfache Betriebsverhältnisse.<sup>5</sup> Ab diesem Zeitpunkt gebaute Zahnradstrecken verwendeten vorwiegend diese Zahnstange.

### Die Dokumentation Zahnradbahntechnik

Die Dokumentation umfasst neun Kapitel. Sie befassen sich mit allen relevanten technischen Details der Zahnradbahnen, die sich von denen der gewöhnlichen Bahnen unterscheiden. Besonders ergiebig an Informationen war das Thema der verschiedenen Formen des Oberbaus der Zahnradbahnen. Beim vorbereitenenden Studium der oben genannten Quellen waren jedoch auch sprachliche Probleme zu lösen. Die Materialbezeichnungen hatten in den letzten 150 Jahren mehrmals geändert. Wer weiss zum Beispiel heute noch, was Puddelstahl oder Tiegelgussstahl ist?<sup>6</sup>

Ein weiteres Problem waren die gesteigerten Anforderungen an die Wirtschaftlichkeit der Zahnradbahnen. Die Arbeitsgruppe hatte daher auch Empfehlungen zu erarbeiten, die zu geringerem Unterhalt und weniger Verschleiss führen sollten. Dafür wurden abnormal verschleissanfällige Komponenten bei verschiedenen Bahnen untersucht. Zusätzlich waren natürlich die nun zur Verfügung stehenden neuen Technologien und Erfahrungen zu berücksichtigen. Dank der so gewonnenen Erkenntnisse konnten verschiedene Verbesserungen vorgeschlagen werden, die zu höherer Sicherheit und zu tieferen Unterhaltskosten führen sollten.

### Kapitel Zahnstangen

Die Untersuchungen zeigten, dass die ursprünglich von Niklaus Riggenbach auf Empfehlung von Carl Culmann<sup>7</sup>, Professor am eidgenössischen Polytechnikum, und Otto Grüninger<sup>8</sup> eingeführte Zahnform optimal war. Deren Flankenwinkel wurden auch für die späteren Zahnstangenbauarten übernommen. Dies galt hingegen für die Höhe der Zahnflanken nur teilweise. Eines der grössten Probleme des Zahnradbetriebs waren (und sind) die unvermeidlichen Unterbrüche in der Zahnstange, sei es durch Stosslücken oder Weichen, oder gar der Übergang von Adhäsions- auf Zahnradstrecken.

### Kapitel Zahnstangenbefestigung

Aus der Dokumentation resultierte die Erkenntnis, dass dank modernem schwerem Gleis und gutem Schotterbett die Dilatationsfugen bei den Zahnstangen nicht mehr nötig sind und diese fest verschraubt oder gar verschweisst werden können. Dadurch wird die Sicherheit gegen Aufsteigen der Zahnrcder erhöht und die Liegedauer der Zahnstangen verlängert.

Beim Abt-System mit den nebeneinanderliegenden Zahnstangenlamellen haben diese in den Kurven nicht die gleiche Länge. Zum Längenausgleich waren dort bisher Stossfugen mit den damit verbundenen Teilungsfehlern nötig. Neu wird angeregt, für Kurven eine der beiden Zahnstangenlamellen mit veränderter Teilung auszuführen. Damit fallen die Stossfugen auch bei diesen Zahnstangen weg.



**Kurvige Strecke mit zweilamelliger Abt-Zahnstange an der Furka.**  
(Foto: Peter Berger)

## Kapitel Zahnräder

Es wird generell empfohlen, die Zahnköpfe möglichst stark abzurunden. Runde Zahnköpfe erleichtern das Einfahren in die Zahnstange und verhindern das Aufklettern bei Teilungsfehlern. Dies hat die Erfahrung an der Rigibahn schon sehr früh gezeigt.<sup>9</sup> Diese Tatsache wurde bei der Optimierung der Zahnformen in den 1970er-Jahren ignoriert. In der Dokumentation wird angeregt, für die Verwendung der Triebzahnräder auf Leiterzahnstangen nicht nur die Arbeitsflanke der Zähne, sondern auch ihre Seiten zu härten. Dadurch verringert sich die Gefahr, dass die Zahnstangenzähne hohl abgenutzt werden.

## Kapitel Schnittstelle Zahnstange-Zahnrad

In diesem Kapitel wurde das Verhalten der Triebzahnräder in den Zahnstangen untersucht. Es zeigte sich, dass heute die etwa gleichen Belastungen der Zahnstangen und Zahnräder zugelassen sind wie in den Anfängen der Zahnradbahn – trotz verbesserter Materialqualitäten.

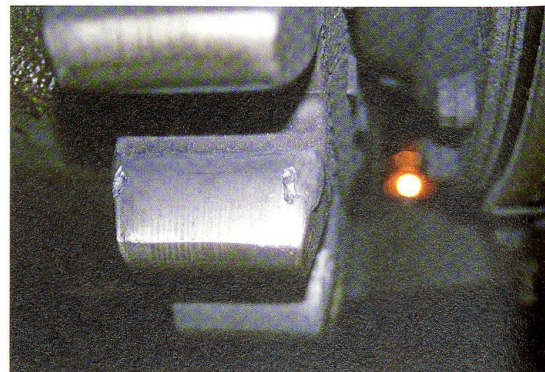
Eine weitere, besonders für Lamellenzahnstangen relevante Erkenntnis war, dass die Mittelachse der Zahnräder und der Zahnstangenzähne übereinstimmen sollten. Andernfalls entsteht einseitige Abnutzung der Zähne, die sich dann auch auf korrekt verlegte Zahnstangen überträgt.

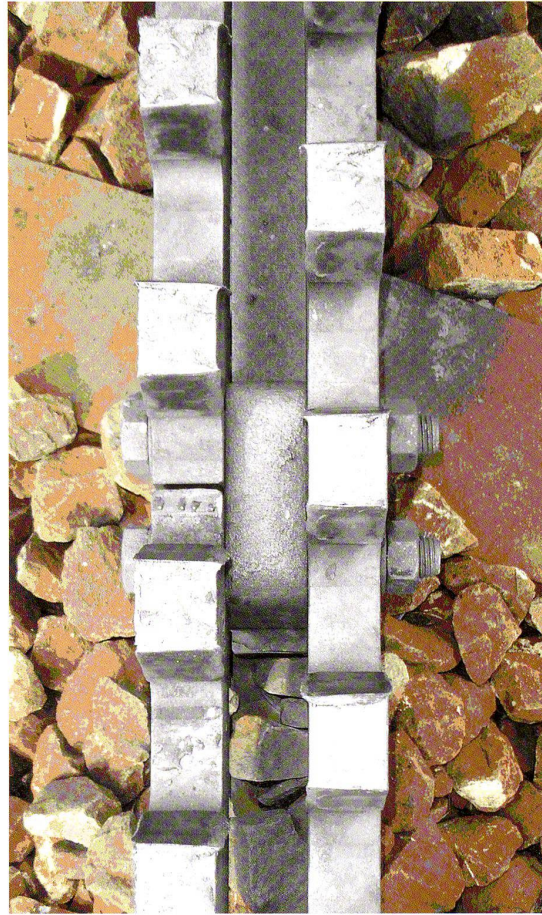
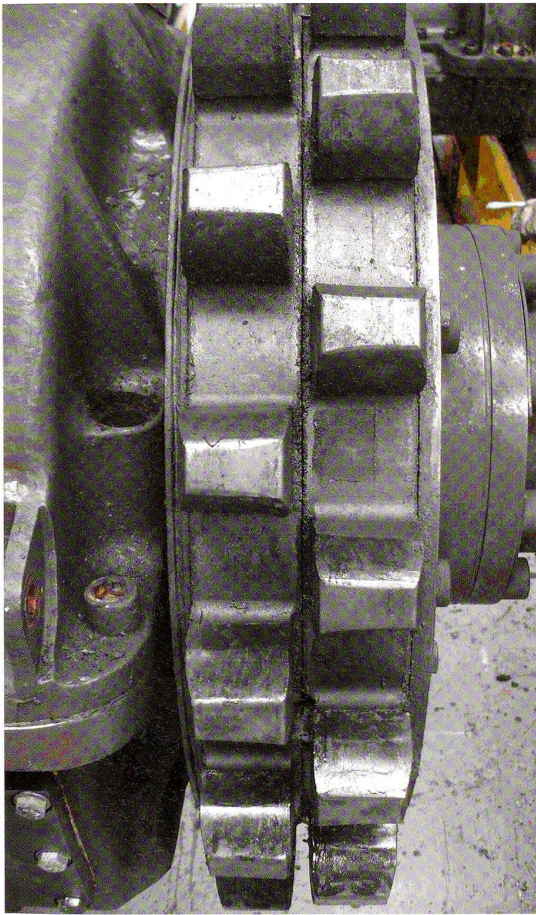
Das prinzipiell gleiche Problem besteht, wenn die Triebzahnräder zu wenig tief in die Zahnstange eingreifen: Die Zahnstangenzähne werden nur im oberen Bereich abgenutzt, und die Zahnflanke wird weniger steil. Dieser falsche Winkel wird dann anschliessend durch die einseitige Belastung auch auf die Zahnflanken der Triebzahnräder übertragen, was zu erhöhtem Entgleisungsrisiko führt.



Bei der Riggenbach-Zahnstange konnten sich die Zähne hohl abnutzen, was zum Abrunden der Zahnflanken der Triebzahnräder führte. Nach Befahren mit fabrikneuen Triebzahnradern wurden diese seitlich überlastet, was zu Ausbrüchen führte.

(Foto: Peter Berger)





Bei Abt-Zahnstangen wurden wegen stärkerer Triebfahrzeuge die Zahnstangenlamellen durch breitere ersetzt, ohne die Lage der Triebzahnräder anzupassen. Dadurch verschoben sich die Lamellenmitten nach aussen, was zu einseitiger Abnützung der Zähne von Zahnstange und Triebzahnrädern führte.

(Fotos: Peter Berger)



Durch Härten auch der Seiten der Zähne der Triebzahnräder konnte hohle Abnützung verhindert werden. Die Zahnflanken nützten nun wohl ab, behielten aber ihre Form bei.

(Foto: Peter Berger)



Bei dieser Strub-Zahnstange ist die Zahnflanke zu niedrig bzw. die Zahnräder sind zu klein, um eine gleichförmige Kraftübertragung sicherzustellen. Dies führt zu Deformation der Zahnflanken. Sichtbar ist auch, dass Abnützungsspuren sowohl in den Zahnköpfen als auch im Zahngrund vorhanden sind.

(Foto: Peter Berger)

## Kapitel Zahnstangeneinfahrten

Hier wurden die neuesten Entwicklungen dieser für gemischte Zahnrad- und Adhäsionsbahnen so wichtigen Einrichtung vorgestellt. Das Problem besteht darin, dass bei der Einfahrt in die Zahnstange die Triebzahnräder in die passende Position verschoben werden müssen, da sonst die Zähne der Triebzahnräder Gefahr laufen, auf jene der Zahnstange aufzufahren, was zu Entgleisungen führen könnte. Bei elektrischen Triebfahrzeugen, bei welchen während der Einfahrt zumeist die Triebzahnräder mit den Adhäsionsantrieben verkuppelt sind, ist dies nicht ganz einfach zu lösen: Die Adhäsionsräder müssen dazu auf den Schienen verrutschen. Besser funktioniert die Synchronisierung bei separat angetriebenen Triebzahnrädern, die den Eingriff aktiv suchen können, sowie bei den nicht angetriebenen Bremszahnrädern.

Bis vor wenigen Jahren wurden die Zahnstangeneinfahrten noch nach den ursprünglichen Plänen von Roman Abt ausgeführt. Diese bestanden aus einem vor der festen Zahnstange eingebauten einseitig (oder früher gar beidseitig) gefederten Zahnstangenstück, meist mit leicht veränderter Teilung.

Erst vor wenigen Jahren wurde eine neuartige Einfahrt entwickelt. Bei dieser werden zuerst die Bremszahnräder mittels eines mit Gummiprofil belegten Balkens in Drehung versetzt, dann werden sie mit der Synchronisierlamelle synchronisiert, und anschliessend folgt die Einfahrlamelle, welche die Triebzahnräder in die korrekte Position für die Einfahrt in die feste Zahnstange zwingt.



**Klassische Zahnstangeneinfahrt nach Abt.**

[Foto: Peter Berger]



**Moderne Zahnstangeneinfahrt für Riggbach-Zahnstange.**

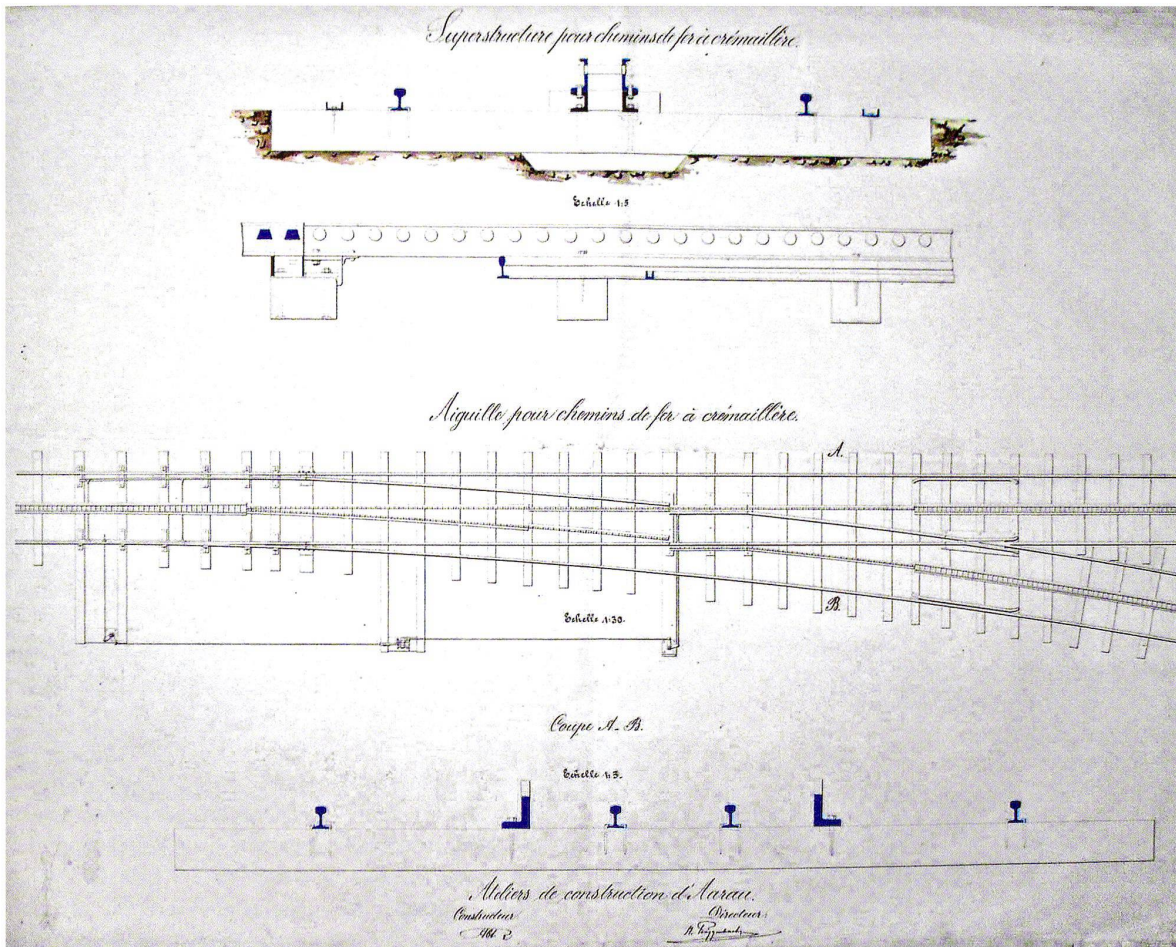
[Foto: Peter Berger]



**Heute noch betriebene Anlage der Pilatusbahn. Je nachdem, welcher Strang der Ausweichstelle benützt werden muss, wird das passende Gleisstück eingefahren.**

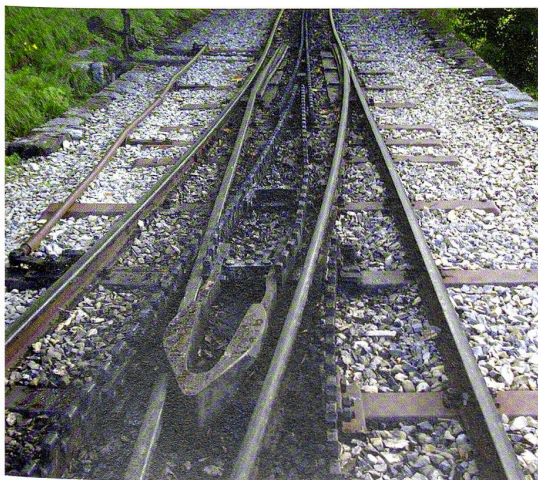
[Foto: Peter Berger]





Die Zeichnung stammt aus den Ateliers de Construction d'Aarau und ist von «N. Riggenbach Directeur» und «Abt R Constructeur» unterschrieben.

(Foto: Peter Berger)



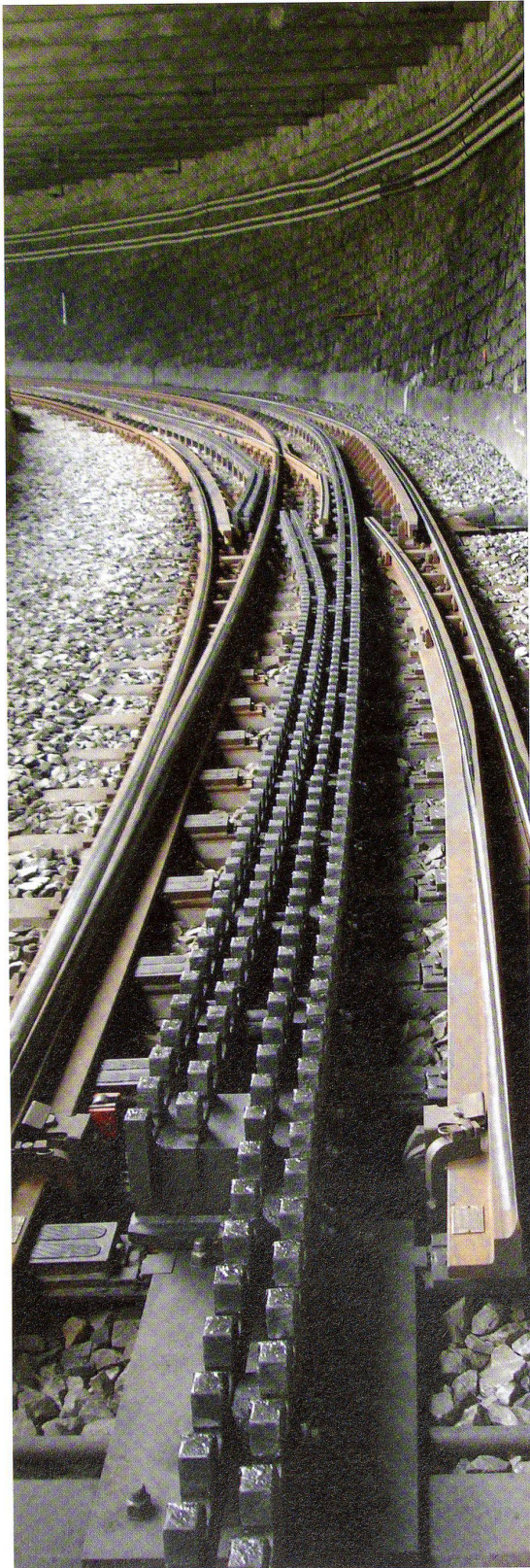
Zahnstangenweiche nach Abt.

(Foto: Peter Berger)



Die Spuren des von der Seite her eindringenden Zahnkranzes.

(Foto: Peter Berger)



Die heute eingebauten Weichen für die Abt-Zahnstangen benötigen mehr bewegliche Zahnstangenelemente als alle andern Zahnstangensysteme.

(Foto: Peter Berger)

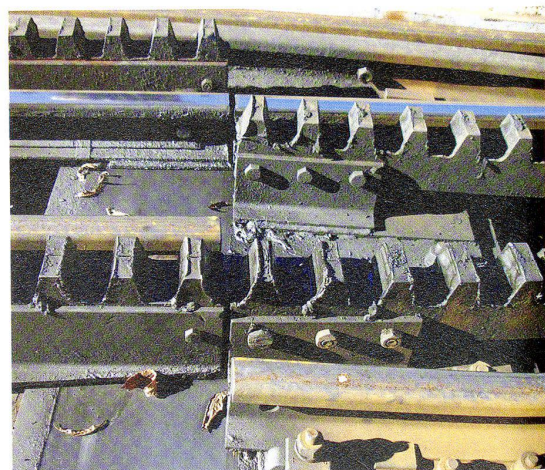
## Kapitel Zahnstangenweichen

Das Kapitel behandelt die verschiedenen Bauarten, die im Laufe der Zeit für die verschiedenen Zahnstangensysteme entstanden sind. Das Problem dabei ist, dass bei Weichen die Zahnstangen des einen Strangs die Schienen des andern Strangs kreuzen müssen. Ursprünglich wurde das Problem durch Anwendung von Schiebebühnen gelöst, indem vor Abzweigungen entweder ein gerades oder ein gebogenes Gleisstück eingeschoben wurde.

Die von Riggenbach bereits 1875 für die Rorschach-Heiden-Bahn konstruierten Zahnstangenweichen entsprechen der für einlamellige Zahnstangenstrecken noch heute verwendeten Bauart.<sup>10</sup>

Bei den traditionellen Weichen des Abt-Zahnstangensystems, die abschnittsweise nur eine der beiden Zahnstangenlamellen benützen, wurde ein in neuerer Zeit aufgetretenes Problem aufgezeigt. Ursprünglich waren diese Weichen in flachen Abschnitten eingebaut, was die Verwendung nur einer der beiden Lamellen erlaubte.

Durch die bei neueren Triebfahrzeugen weicheren Tangentialfedern der Triebzahnäder können nach einlamelligen Abschnitten Probleme beim Wiedereingriff in die zweite Lamelle auftreten, da der belastete Zahnkranz gegenüber dem unbelasteten verdreht wird. Versucht ein falsch positionierter Zahnkranz von der Seite her in die Zahnstange einzugreifen, kann dies zu unkontrollierbaren Querkräften und starkem Verschleiss führen. Das Problem tritt vor allem an in Steigungen eingebauten Weichen auf. Eine Abhilfe kann konstruktiv



Starke Abnutzung bei den Stosslücken einer relativ neuen Weiche für schwere einlamellige Zahnstangen.

(Foto: Peter Berger)



Neuer Triebzug der Zentralbahn in Engelberg. Im sieben teiligen Zug sind vier Triebzahnräder und acht Adhäsionstriebzahnradsätze vorhanden.

(Foto: Peter Berger)

nicht erreicht werden. Diese Weichenbauart sollte deshalb nicht mehr angewendet werden.

Bei allen Weichen ist wichtig, dass die auf sie zuführenden Zahnstangen durch die Weiche hindurch kraftschlüssig miteinander verbunden werden, da sonst bei den Stossfugen durch die Dilatation stark abweichende Teilungen auftreten können. Dies kann rasch zu Deformation der dortigen Zähne führen. Leider wird diese Erkenntnis oft missachtet, was zu grossem Verschleiss führen kann.

#### Fahrzeugbau

Heute werden alle Entwicklungen des modernen Fahrzeugbaus angewendet. Antriebe und Fahrzeugaufbauten basieren auf neuesten Technologien.

Das Hauptproblem der Zahnradbahnen liegt bei den Bremsen. Diese funktionieren grundsätzlich wie früher. Die physikalischen Gesetze gelten auch hier. Die bei Bergfahrt aufgenommene Energie wird bei der Talfahrt wieder frei und muss abgeführt werden. Dies kann nur über die Antriebsmaschine geschehen, welche wenn möglich die Energie in die Fahrleitung zurücksendet oder als Wärme an die Umwelt abgibt. Die mechanischen Bremsen dienen nur zum Anhalten. Sie sind

grundsätzlich wie früher aufgebaut, einzig die Bremsbeläge sind nun viel leistungsfähiger und dauerhafter. Innenausbau und elektrische Ausrüstung entsprechen der modernen Bahntechnik. Hinweise auf Sitze und Gepäckträger basieren auf Erfahrungen aus der Praxis.

#### Dokumentation

Im abschliessenden Kapitel werden die bekannten Publikationen im Zusammenhang mit der Technik der Zahnradbahnen aufgelistet.

#### Folgerung

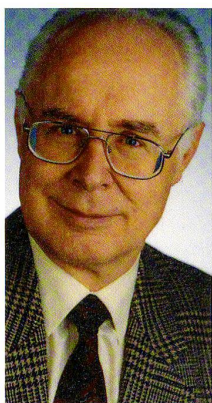
Heute als solche empfundene Mängel sind teilweise durch seither vorgenommene scheinbare oder wirkliche Verbesserungen verursacht worden. Diese Mängel waren teilweise bereits einmal erkannt und korrigiert worden, sind aber als Folge geänderter Randbedingungen und fehlenden Wissens wieder entstanden. Verschiedene Unklarheiten, besonders bei Anwendung der zweilamelligen Abt-Zahnstange, konnten dank der in den Akten enthaltenen Informationen besser verstanden und teilweise in die Dokumentation übernommen werden.

Die Arbeitsgruppe erarbeitete in der Folge die Dokumentation in erster Linie aufgrund der eigenen Erfah-

rungen, die teilweise auch auf begangenen Fehlern basierten, und dem Besuch interessanter Anlagen. Schwierig war es teilweise, die divergierenden Erfahrungen mit den verschiedenen Zahnstangensystemen durchzudiskutieren, um so allgemeingültige Empfehlungen erarbeiten zu können.

Die Arbeiten an der Dokumentation «Zahnradbahn Systemtechnik» konnten 2009 abgeschlossen werden. Die Dokumentation, welche 238 Seiten umfasst, wurde auch auf Französisch übersetzt und am 1. Mai 2010 veröffentlicht. Sie wurde in die Sammlung Regelwerk Technik Eisenbahn des VöV als D RTE 29 700 aufgenommen.

Die Dokumentation macht deutlich, welche grossartige Arbeit die Pioniere damals geleistet haben. Die auf Basis der Erfahrungen der Rigibahn modifizierte Technologie ist grundsätzlich noch heute aktuell. Die Abweichungen davon in der heutigen Praxis sind weitgehend auf die zur Verfügung stehenden neueren Technologien und wesentlich höheren Anforderungen zurückzuführen.



#### **Peter Berger**

Peter Berger, geboren 1937, schloss 1962 die Ausbildung als Elektroingenieur FH an der Hochschule Luzern ab. Er arbeitete von 1962 bis 1964 bei der Firma Brown, Boveri & Cie. in Baden in der Abteilung für Projektierung und Verkauf von Wechselstrom- und Zahnradbahnen. Nach einem fünf Monate dauernden Studienaufenthalt in Nordamerika trat er in den Traktionsdienst der Luzern-Stans-Engelberg-Bahn ein, welchen er in der Folge bis zu seiner Pensionierung 2002 leitete. Nebst dem massgebenden Anteil am Buch über die Geschichte dieser Bahn war er am Regelwerk des Verbandes öffentlicher Verkehr betreffend die Normierung von Radsätzen und Weichen der Schweizer Meterspurbahnen und an der Dokumentation über die Systemtechnik Zahnradbahnen beteiligt.

- <sup>1</sup> Elmer G. Sulzer: Locomotives for the Madison Hill. In: Bulletin of the Railway and Locomotive Historical Society, Nr. 123, Oktober 1970, S. 23–43.
- <sup>2</sup> Walter Hefti: Zahnradbahnen der Welt. Basel 1971, S. 156.
- <sup>3</sup> Ebd.
- <sup>4</sup> Werner Latscha: Sieben Bergbahnpioniere. Niklaus Riggenschach (1817–1899), Carl Roman Abt (1850–1933), Emil Strub (1858–1909), Eduard Locher (1840–1910), Franz Josef Bucher (1834–1906), Josef Durrer (1841–1919), Karl Garaventa (1888–1965). (Schweizer Pioniere der Wirtschaft und Technik Bd. 81.) Zürich 2005.
- <sup>5</sup> Eidgenössisches Amt für geistiges Eigentum, Patent Nr. 5474 vom 29. August 1892, 8 Uhr, a, im Verkehrshaus der Schweiz, Luzern.
- <sup>6</sup> Emil Strub: Lokomotiven der Vitznau-Rigi-Bahn, bisherige Erfahrungen und Verbesserungen. In: Schweizerische Bauzeitung, Bd. 16, 1890, Heft 21, S. 129–131.
- <sup>7</sup> Emil Strub: Bergbahnen der Schweiz bis 1900. Wiesbaden 1900, S. 76.
- <sup>8</sup> Otto Grüniger studierte im Auftrag von Riggenschach die Mount Washington Bahn und verfasste einen Bericht darüber, der Verbesserungsvorschläge enthielt.
- <sup>9</sup> Emil Strub: Zum 25-jährigen Jubiläum der Rigibahn. In: Schweizerische Bauzeitung, Bd. 27, 1896, Heft 23, S. 165.
- <sup>10</sup> Zeichnungen der Maschinenfabrik Aarau im Archiv des Verkehrshaus der Schweiz, Luzern.