

## ZAHNRADLOKOMOTIVEN

Die gesamte Entwicklungsgeschichte der Zahnradlokomotive von der kleinen Touristenbahnlokomotive bis zu der heutigen Vervollkommnung zur Großleistungsmaschine für schweren Verkehr auf großen Steigungen hat sich in Deutschland von Anfang an ausschließlich in der Maschinenfabrik Eßlingen vollzogen.

Die engen Beziehungen der Erfinder der einzelnen Zahnradbahnsysteme, Nikolaus Riggenbach und Roman Abt, zu der durch ihre hervorragenden Lokomotivkonstruktionen weltbekannten Firma, haben zusammen mit den technischen Leistungen der Eßlinger Konstrukteure den Bau von Zahnradlokomotiven in Eßlingen als besonderen Fabrikationszweig zum Leben erweckt, der lange Jahre hindurch der einzige seiner Art war und der nach seiner nahezu 40jährigen Entwicklung der Firma ihre führende Stellung auf diesem Gebiet verschafft hat.

Mehr als 200 Zahnradlokomotiven aller Größen und Systeme und eine ansehnliche Länge von Zahnstangen sind innerhalb von 37 Jahren in alle Erdteile geliefert worden. Die getreue Nachbildung der Eßlinger Typen durch andere Firmen beweisen nur den hervorragenden Ruf des Eßlinger Fabrikats.

Obwohl das Zahnradbahnsystem aus den Uranfängen des Eisenbahnbaues als Mittel zur Verbesserung der in dieser Zeit arg unterschätzten Adhäsionszugkraft hinreichend bekannt war, ist die Einführung des Systems auf Bergbahnen erst 1869 durch den Amerikaner Marsh am Mount Washington und 1871 durch Nikolaus Riggenbach bei der von ihm erbauten Rigibahn erfolgt.

Riggenbach kam 1839 mit französischen Monteuren von Paris nach Karlsruhe, wo er zuerst als einfacher Monteur die feineren Bestandteile der ersten deutschen Lokomotiven noch eigenhändig herstellte. Nach kurzer Selbständigkeit in der Schweiz ist er als Werkführer und späterer Geschäftsführer für Emil Keßler in Karlsruhe als hervorragender Mitarbeiter tätig gewesen.

Auf den Gedanken der Zahnradbahn kam er als technischer Chef der schweizerischen Zentralbahn durch den Bahnbetrieb durch den Hauensteintunnel, der 26 ‰ Steigung bei sehr schlechten Adhäsionsverhältnissen aufwies.

Wie so manchem Erfinder ist auch ihm die bittere Enttäuschung und der Spott der Fachgenossen nicht erspart geblieben, bis es ihm nach 10jähriger Wartezeit gelungen ist, durch die Rigibahn die Brauchbarkeit seiner Erfindung nachzuweisen.

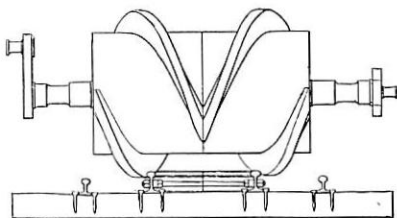
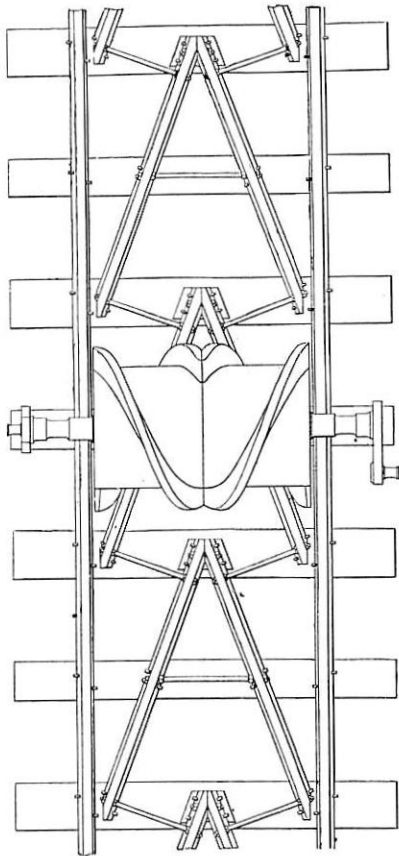


Abb. 144. Zahnstange Wetli.

Die allgemeinen Geschäftskrisen der 70er Jahre verhinderten die sofortige Ausbreitung von Zahnradbahnen und erst Anfang der 80er Jahre ist mit dem Bau einer Reihe von Zahnradbahnen nach dem Rigivorbild begonnen worden.

Mit dieser Zeit beginnt auch in Eßlingen der Bau von Zahnradbahnmaterial in Verbindung mit dem nunmehr als Zivilingenieur tätigen Riggenbach.

Fast gleichzeitig mit Riggenbach suchte ein anderer Schweizer, Wetli, Kantoningenieur in Zürich, ein Bergbahnsystem zu verwirklichen, das kurz erwähnt wird, weil die hierfür erbaute Lokomotive die erste Eßlinger Bergbahnlokomotive gewesen ist. Das Wetli-System kam auf der 10 km langen Strecke mit 5% Maximalsteigung Wädensweil—Einsiedeln am Züricher See 1874 zur Ausführung und bestand aus einer pfeilförmigen Verzahnung nach Abb. 144, die, aus Schienenstücken gebildet, zwischen die Adhäsionsschienen gelegt war.

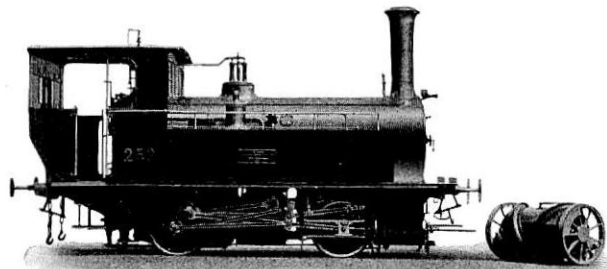


Abb. 145. Wädensweil-Einsiedeln.

Fabrik-Nr. . . . .	} 1519	380·530	12	1,28·78,53
Baujahr . . . . .	1876			

Das Zahnradtriebwerk der Lokomotive bestand, wie Abb. 145 zeigt, aus einer schmiedeeisernen Walze, auf die eine aus Walzschienen gebogene Pfeilverzahnung aufgenietet war.

Dieses Zahnrad war im Hauptrahmen der Lokomotive zwischen den beiden Kuppelrädern gelagert und wurde von dem hinteren Kuppelradsatz durch Kuppelstangen angetrieben. Damit die Benutzung der Maschine auch auf den reinen Adhäsionsstrecken möglich

war, konnte die Zahnwalze gehoben werden; infolge ihrer Verbindung mit dem Adhäsionstriebwerk lief sie dann leer mit. Vor Ausführung dieser Bahn sind viele Professorengutachten für und wider abgegeben worden und ein heftiger Pressefeldzug hat für das System gewirkt. Ein ernstlicher Unfall am 30. November 1876 bei einer Probefahrt, dessen eigentliche Ursache nicht in dem System lag, hat dem Unternehmen ein plötzliches Ende bereitet.



Abb. 146. Zahnstange Riggenbach.

Die bei dem Unfall nicht zutage getretenen Hauptmängel des Systems, unrichtiges Eingriffsverhältnis in Kurven, der Unterschied der Umfangsgeschwindigkeiten zwischen Adhäsionsrädern und Zahntrömmel bei Abnutzung der Adhäsionsräder, sowie die Unzulänglichkeit der Oberbaureinigung bei Eis und Schnee, hätten dem Wetli-System eine lange Lebensdauer ohnehin nicht gestattet.

So war nur das Riggenbachsche System mit der einfachen Leiterzahnstange nach Abb.146 das allein herrschende, und seine rasche Verbreitung ist ein Beweis seiner Brauchbarkeit.

## ZAHNRADLOKOMOTIVEN

Zunächst wurden 1884/85 eine Reihe von Touristenbahnen gebaut, deren Verhältnisse in der Tabelle XI angegeben sind. Die Lokomotiven wurden als reine Zahnradlokomotiven gebaut, d. h. die beiden Adhäsionsachsen dienten nur als Tragachsen. Das zwischen diesen

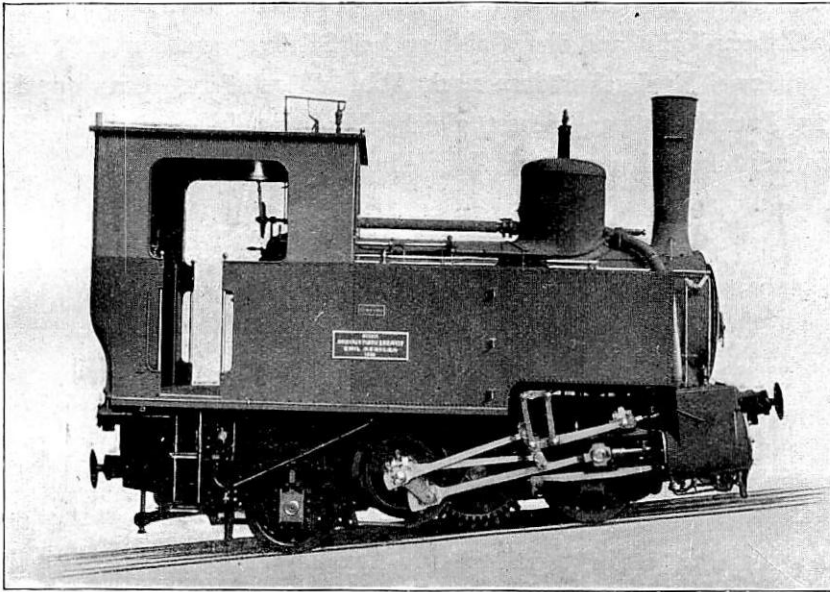


Abb. 147. Verschiedene Touristenbahnen.  
Baujahr ab 1883, verschiedene Größen

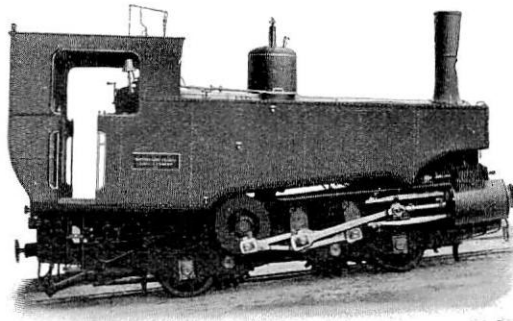


Abb. 148. Gaisberg-Bahn Nr. 1 bis 3.

Fabrik-Nr. 2205 bis 2207	350·500	11	1,28·57,9
Baujahr 1886 1887	(764)·2700		18,69·23,84

Achsen gelagerte Treibzahnrad wurde durch ein Zahnradervorgelege von den Zylindern aus angetrieben. Als Betriebsbremse diente die in Zukunft bei allen Eßlinger Zahnradlokomotiven angewandte Repressionsbremse, die durch Luftverdichtung unter Kühlwasserzusatz in den

Dampfzylindern wirkt und eine gute Regulierfähigkeit ohne Verschleiß von Bremssteilen zuläßt. Zur Notbremsung ist eine Rillenscheibe auf der Transmissionswelle mit Band- oder Klotzbremse angeordnet, ferner noch ein auf einer der Tragachsen lose laufendes Bremszahnrad mit derselben Bremseinrichtung. Eine solche Maschine, die an Einfachheit und Übersichtlichkeit nichts zu wünschen übrig läßt, zeigt Abb. 147.

Für die Zahnradbahn auf den Gaisberg bei Salzburg wurden 1887 reine Zahnradlokomotiven mit zwei Treibzahnradern nach Abb. 148 geliefert. Ein doppelarmiger Ausgleichhebel im Antriebsgestänge sichert gleiche Kraftverteilung auf beide Zahnräder und gleicht die Zahndrücke bei ungenauer Zahnteilung aus.

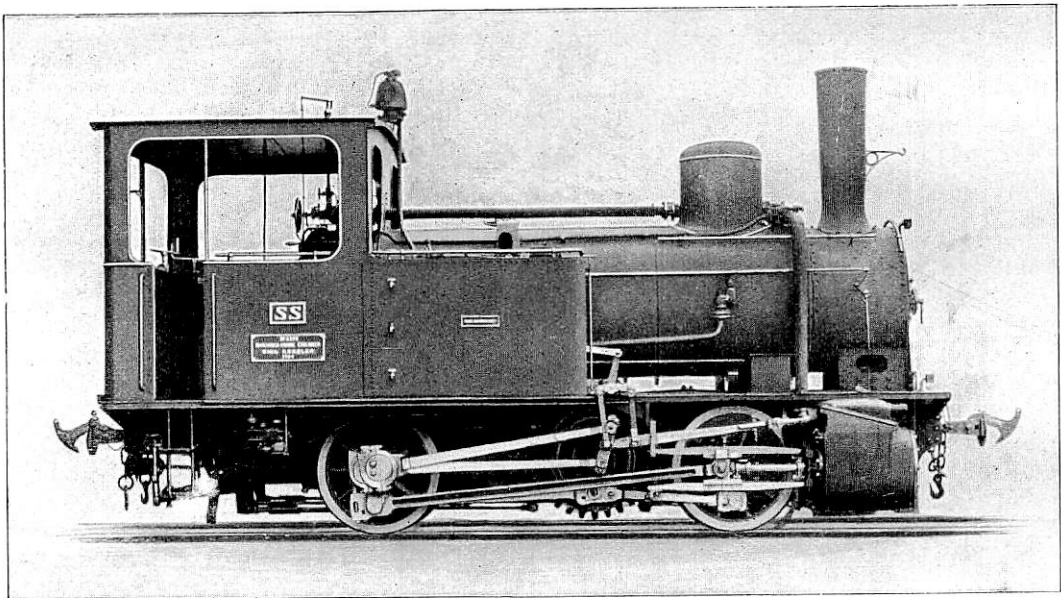


Abb. 149. Holländ. St.B. auf Sumatra Nr. 60.

Fabrik-Nr. 2514  
Baujahr 1892

430 · 500	11	0,888 · 51,13
983 (975) 2400		17,34 · 20,94

Die zweite Stufe der Riggenbach-Zahnradlokomotive ist die Lokomotive mit Zahnrad- und Adhäsionsantrieb.

Entweder wird das zwischen den beiden Kuppelachsen liegende Zahnrad mit der vorderen Kuppelachse durch gemeinschaftliche Kuppelstangen von der hinteren Adhäsionsachse nach Abb. 149 angetrieben, oder aber, es werden wie bei der Sumatra-Vorgelegelokomotive die beiden Adhäsionsräder mit der Zahnradwelle gekuppelt, die ihrerseits durch ein Vorgelege von den Zylindern angetrieben wird (Abb. 150).

Eine weitere, neuere Antriebsart der beiden Kuppelachsen von dem durch Zahnradübersetzung angetriebenen Treibzahnrad aus durch eine gemeinsame Schlitzkuppelstange ist durch Abb. 151 wiedergegeben. Diese Art von Zahnrad- und Adhäsionslokomotiven

eignen sich vorzugsweise für Bahnen, auf denen keine zu langen Zahnstangenstrecken vorhanden sind, insbesondere auch wegen ihrer Einfachheit für Werkbahnen.

Die dritte Ausführungsform der Riggerbach-Zahnradlokomotive entstand, als man anfang, Zahnradbahnen nicht nur für Touristenverkehr, sondern auch für den allgemeinen normalen Bahnverkehr an solchen Stellen zu bauen, wo die Verbindung zweier Adhäsionsstrecken durch eine Zahnstangenstrecke hinsichtlich Anlagekosten nennenswerte Ersparnisse

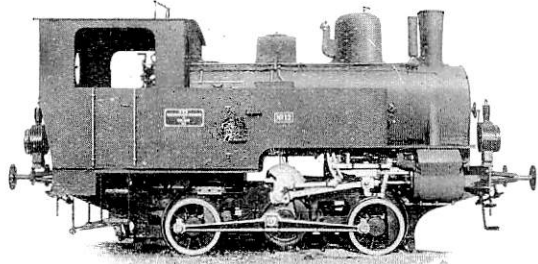
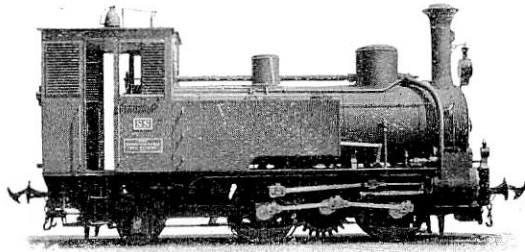


Abb. 150. Holländ. St.B. auf Sumatra  
Nr. 27 bis 45. 56 bis 58.

Fabrik-Nr.	2269	2424	2515	2634	3068	3201
	2272	2429	2519	2637	3069	
Baujahr . .	1889	1891	1892	1894	1899	1902
	340 · 500		1,4 · 72,218			
	983 · (975) 3900		22,5 · 28,24 · 21,34			

Abb. 151. Bochumer Verein.

Fabrik-Nr. 3696

Baujahr 1913

$$\frac{350 \cdot 400}{770 (764) 2500} \stackrel{12}{=} \frac{1,25 \cdot 61}{19,56 \cdot 24,92}$$

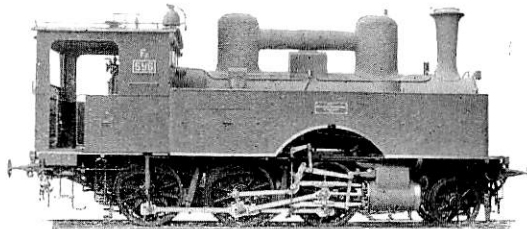


Abb. 152. Ansicht zu Abb. 153.

zu versprechen schien. Wie später gezeigt wird, ist 1885 das Abt-System auf der Harzbahn für den schweren Güterverkehr von Anfang an in Aussicht genommen worden. Die Anwendung des Riggerbach-Systems für schweren Verkehr folgte nach. Zwei solcher Bahnen sind 1892 in Württemberg gebaut worden, die eine bei der zweiten Überquerung des Steilabfalls der schwäbischen Alb auf der normalspurigen Strecke Reutlingen—Münsingen mit der 2 km langen Zahnradstrecke Honau—Lichtenstein mit 100<sup>0</sup>/<sub>00</sub> größter Steigung, die andere 5,6 km lange Zahnstangenstrecke Klosterreichenbach—Freudenstadt, mit 50<sup>0</sup>/<sub>00</sub> Steigung in der Linie Freudenstadt—Rastatt.



ZAHNRADLOKOMOTIVEN

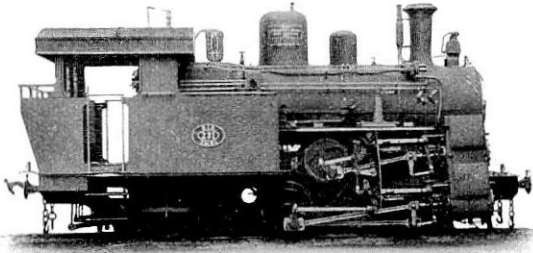


Abb. 154. Holländ. St.B. auf Java Nr. 231 bis 235.

Fabrik-Nr. 3242 bis 3244. 3342. 3343  
 Baujahr 1902 1905

340		
390	·450	
<hr/>		
850 (994)	3750	12,65
		1,44 · 63,2
		<hr/>
		26,5 · 30,9 · 21

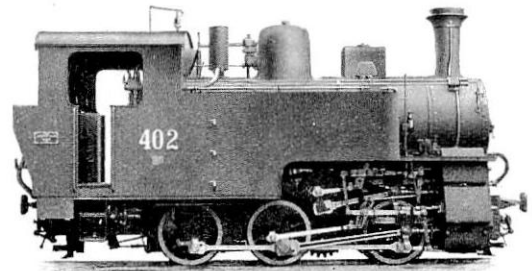


Abb. 155. Sizilien Nr. 401 bis 410.

Fabrik-Nr. 3461 bis 3466. 3669 bis 3672  
 Baujahr 1908 1912

4 × 400 · 450		1,73 · 76,29
<hr/>		
950 (860) · 3000	14	30,12 · 38,2

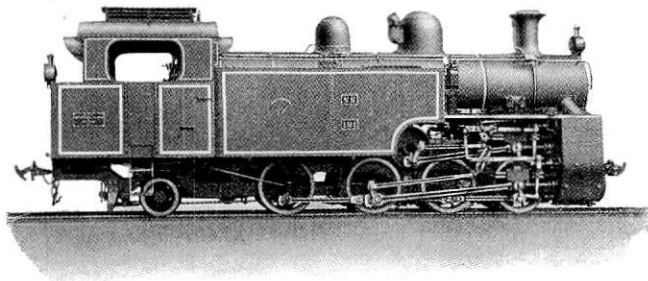


Abb. 156. Holländ. St.B. auf Sumatra Nr. 101 bis 102.

Fabrik-Nr. 3678 bis 3679  
 Baujahr 1913

4 × 450 · 480		1,85 · 92,51
<hr/>		
1000 (975) · 5000	14	38,6 · 49,96 · 41,28

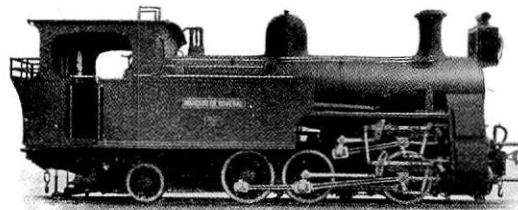


Abb. 157. Benguella-Bahn Nr. 5. 6. '11. 12.

Fabrik-Nr. } Baujahr . . }	3350	3441
	3351	3442
	1906	1907

4 × 435 · 480		1,86 · 95,41
<hr/>		
1050 (955) 4950	14	37,12 · 45,34 · 35,78

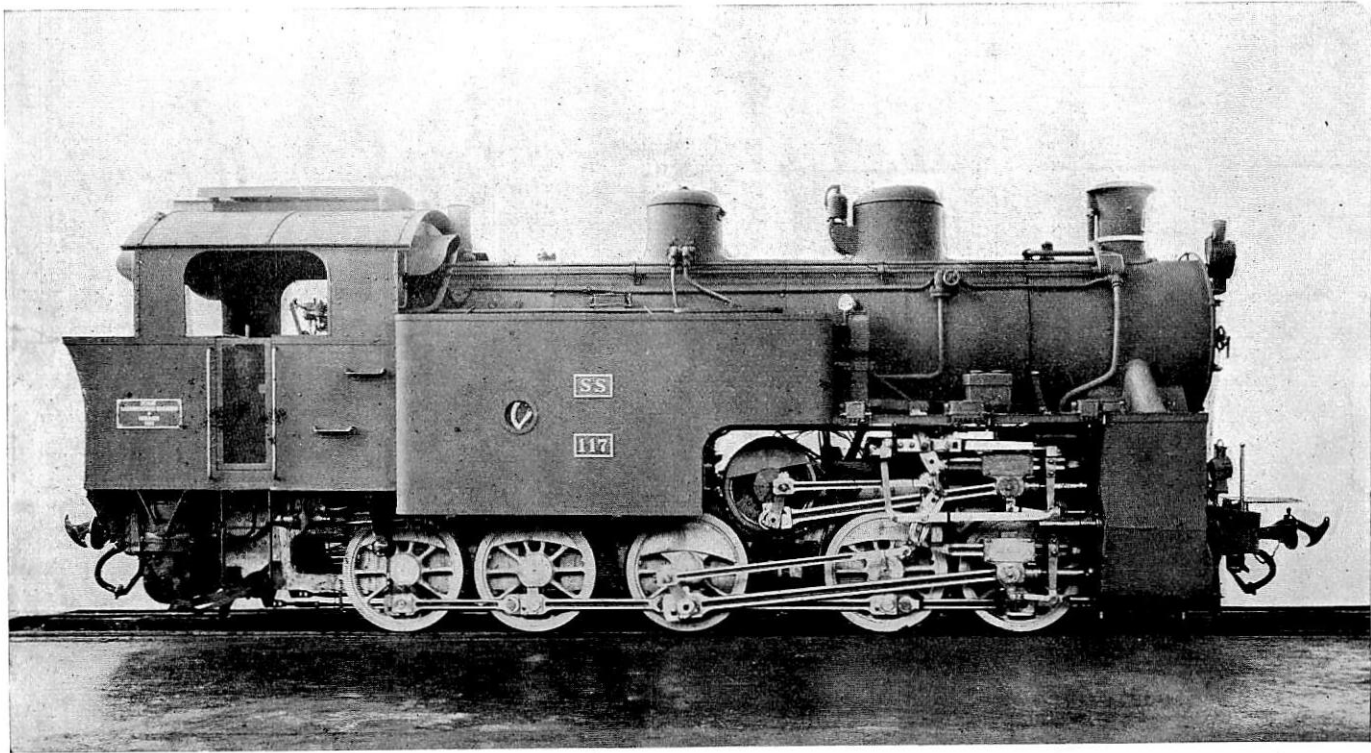


Abb. 158. Holländ. St.B. auf Sumatra Nr. 113 bis 118.

Fabrik-Nr. 3986 bis 3991  
Baujahr 1920

$$\frac{4 \times 450 \cdot 520}{1000 (975) 5000} 14 \frac{1,85 \cdot 66,76 (30,8)}{41,96 \cdot 52,06}$$

wesentlich verbesserter Anordnung weiterverwendet. Bei den nach Java 1902 gelieferten Lokomotiven nach Abb. 154 sind die Innenzylinder durch außen über den Adhäsionszylindern liegende Zylinder für den Zahnradantrieb ersetzt und das Treibzahnrad ist am Haupttrahmen fest gelagert worden. Diese durch ihre Übersichtlichkeit und Zugänglichkeit besonders bemerkenswerte Konstruktion hat sich bei einer Reihe von Bahnen eingeführt. Die angefertigten hauptsächlichsten Typen zeigen die Abb. 154–159.

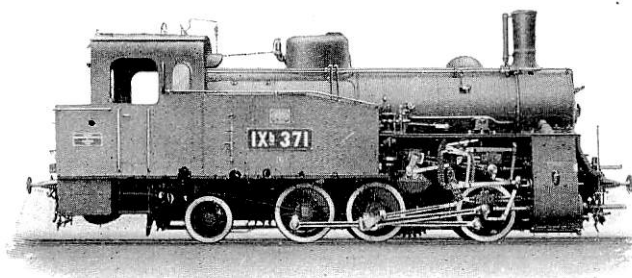


Abb. 159. Bad. St.B. Nr. 344. 345. 371. 736 bis 739.

Fabrik-Nr.	}	3544	3983	$\frac{4 \times 450 \cdot 500}{1080 (1082) 5050}$	14	$\frac{1,8 \cdot 97,59}{45 \cdot 57 \cdot 43}$
		3547	3985			$\frac{1,8 \cdot 115,66}{45 \cdot 57 \cdot 43}$
Baujahr		1910	1921			

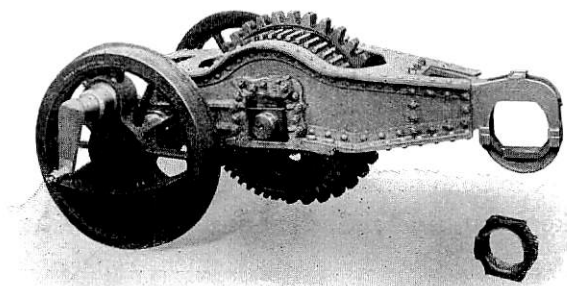


Abb. 160. Zahnradrahmen zu Abb. 159.

Eine Eßlingen geschützte Abänderung in der Lagerung des Treibzahnrades weist die Lokomotive der badischen Staatsbahn für die Höllentalbahn auf (Abb. 160).

Hierbei ist das Treibzahnrad nicht im abgefederten Haupttrahmen, sondern in einem Gestell gelagert, das in drei Punkten auf zwei Kuppelachsen aufruhet. Auf diese Weise ist der Zahneingriff vom Federspiel unabhängig gemacht worden. Das kleine Übersetzungszahnrad wird im Haupttrahmen in senkrechter Richtung durch Distanzhalter verschoben.

Anfang der 80er Jahre gaben die Bemühungen des Geheimrats A. Schneider um die Erschließung der eisenhaltigen Landesteile des Harz dem langjährigen Mitarbeiter Riggensbachs, Roman Abt in Luzern, die Veranlassung zur Durchbildung eines Patents auf ein neues Zahnradbahnsystem.

## ABT - SYSTEM

Im Gegensatz zu den Anfängen des Riggenbach-Systems, das in seinen ersten Ausführungen nur Ausflug- und leichte Werkbahnen in sich schloß, begann Abt sofort mit der Verwirklichung einer Vollbahn, mit der Züge von über 100 t Bruttolast mit mehr als 7 km Stundengeschwindigkeit befördert werden sollten. Die für die Harzbahn ausgeführte Zahnstangensteigung betrug  $60 \text{ ‰}$ .

Das Zahnstangensystem Abt besteht aus zwei oder drei durchlaufenden Zahnlamellen aus hochkant gestelltem Flacheisen, die auf Stühlen zusammengefaßt und mit diesen auf den Schwellen befestigt sind. Die Zahnteilung der einzelnen Lamellen und die Stoßstellen der Zahnsegmente sind gegeneinander versetzt, so daß ein fortlaufender und immer gleich bleibender Eingriff der Zahnräder gesichert ist. Da bei den Lokomotiven zwei und in einigen Fällen sogar drei Zahnräder zur Anwendung kommen, die zwar gekuppelt, aber unter sich wiederum verschränkt sind, so erfolgt bei der dreilamelligen Zahnstange bei 120 mm Zahnteilung und zwei Treibzahnradern alle 20 mm ein neuer Zahneingriff. Dadurch ist ein sehr ruhiger und sanfter Gang der Lokomotive erreicht. Damit alle Zahnräder auch bei ungenauer Teilung zum Anliegen kommen, sind außerdem noch die Zahnscheiben auf dem Scheibenkörper federnd befestigt. Die Anwendung von kleinen Teilkreisdurchmessern und damit der direkte Antrieb durch die Zylinder ergab sich dann von selbst.

Die Treibzahnräder sind nach Abb. 161 in einem Gestell gelagert, das auf zwei Adhäsionsachsen aufgehängt ist und in seiner Höhenlage der Radreifenabnutzung entsprechend verstellt werden kann. Das Wesentliche aber am Abt-System ist, daß von Anfang an auch das Reibungsgewicht zur Zugleistung herangezogen wird, dadurch, daß die Lokomotive als vollständige Adhäsionsmaschine mit zwei besonderen Antriebzylindern ausgebildet ist. Die Abt-Maschinen sind daher in erster Linie Reibungsmaschinen, die auf der ganzen Bahnstrecke arbeiten und deren Zahnradvorrichtung nur auf den zwischen die Adhäsionsstrecken gelegten Zahnstangenstrecken zur Tätigkeit kommt.

Einen Längsschnitt der ersten derartigen Abt-Maschine für die Harzbahn zeigt Abb. 162 und eine Ansicht der Harzbahnlokomotive von 1914 Abb. 163.

Die verschiedenen Typen von Adhäsions- und Zahnradlokomotiven, die sich im Laufe der Jahre aus der ersten Abt-Maschine herausentwickelt haben, sind durch die Abb. 164

bis 167 dargestellt. Der Typ, Abb. 168, ist eine Kombination eines Riggenbach-Triebwerks mit einem Abt-Zahnrad. — Die Ausbreitung des Abt-Systems geht aus Tabelle XI hervor, worin die südamerikanischen Bergbahnen hinsichtlich der Länge der Zahnradstrecken ganz besonders auffallen. Die erste, im Jahre 1912 vollendete Bahnverbindung zwischen Argentinien und Chile von Buenos Aires nach Valparaiso überschreitet zwischen der argentinischen

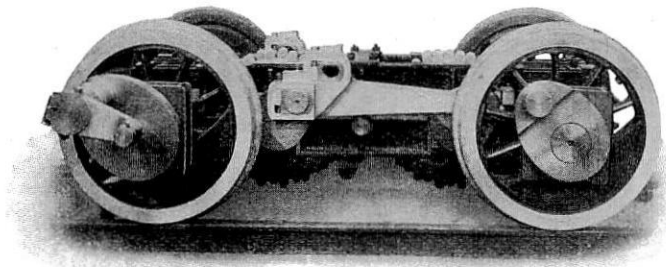


Abb. 161. Zahnrad-Triebwerk Abt-System.

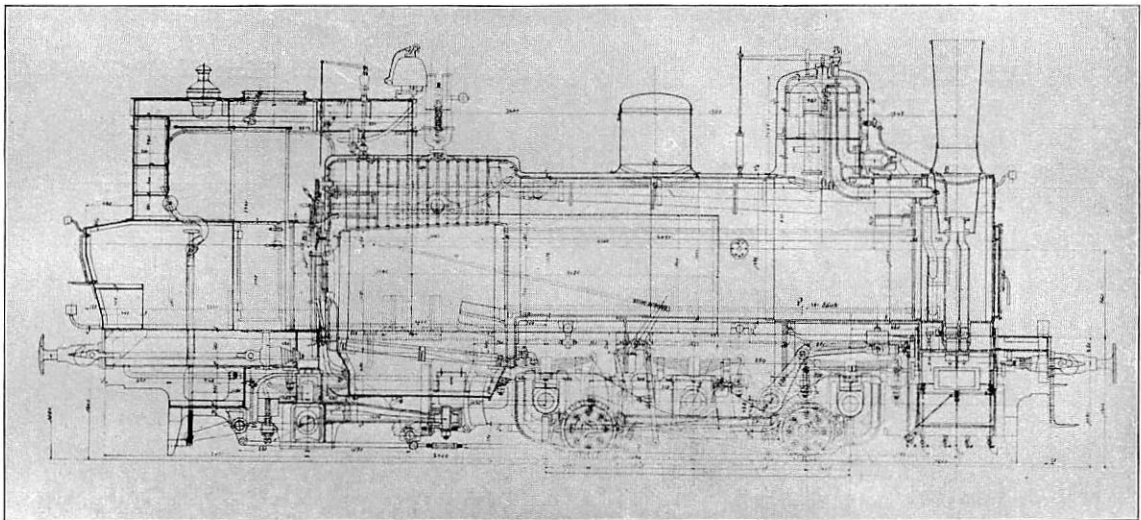


Abb. 162. Harz-Bahn.

Fabrik-Nr.	2084 bis 2087.	2204.	2667.	2987.	3321.	3352.	3418.	3419		
Baujahr	1885	1887	1894	1898	1904	1906	1907			
									450 600	
									300 600	
									1250 (573) 5450	10
										1,87 · 136,1
										45,74 · 57,44 · 45,14

Station Mendoza und der chilenischen Station Los Andes auf rund 280 km Bahnlänge die Anden in einer Höhe von 3180 m über dem Meer und 2400 m über der Station Mendoza. In dem wilden, stark zerklüfteten Gebirge hätte die Anlage einer reinen Adhäsionsbahn unendliche Schwierigkeiten bereitet, während man bei Verwendung von 30 km Zahnstange im aufsteigenden Teil auf argentinischer Seite und 35 km Zahnstange auf dem chilenischen Abstieg nur dem uralten Saumpfad zu folgen hatte.

Die meterspurige Bahn mit 80<sup>0</sup>/<sub>00</sub> Höchststeigung ist mit der dreilamelligen Abt-Zahnstange ausgerüstet und die außergewöhnliche Zugkraft von 20500 kg, die für die Lokomotive erforderlich war, stellte große Anforderungen an die technische Leistung der Maschinenfabrik.

Die 1908 gelieferten Maschinen haben 87,5 t Dienstgewicht, das auf vier Kuppelachsen und drei Laufachsen verteilt wurde. Drei gekuppelte Treibzahnräder übertragen ihre Zugkraft auf die dreilamellige Abt-Zahnstange.

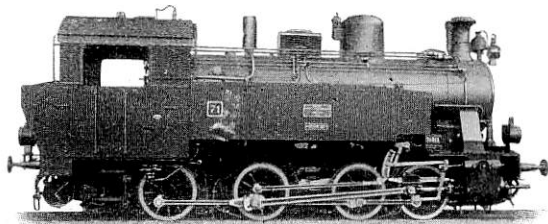


Abb. 163. Harzbahn.

Fabrik-Nr. 36732

Baujahr 1914

540/380 · 500/450	12	$\frac{2,1 \cdot 101,65}{50,2 \cdot 62,9}$ (31,2)
1100 (688) 5050		

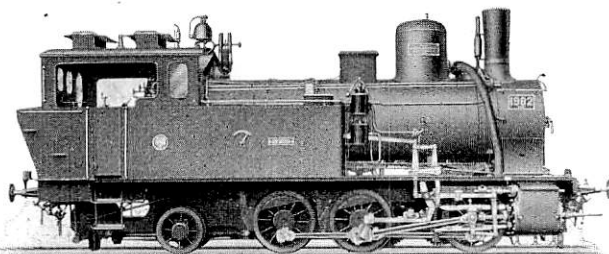


Abb. 164. Preuß. St.B. (Erfurt) Nr. 1981 bis 1983.

Fabrik-Nr. 3195 bis 3197

Baujahr 1902

470/420 · 500/450	12	$\frac{2,1 \cdot 122,78}{44,29 \cdot 55,88 \cdot 41,86}$
1080 (688) · 5050		

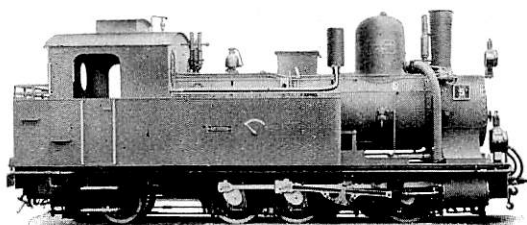


Abb. 165. Brohltalbahn Nr. 1. 2. 5<sup>a</sup>.

Fabrik-Nr. 3025. 3026. 3682  
Baujahr 1900 1913

380/320 · 500/450	12	$\frac{1,4 \cdot 69,4}{30 \cdot 39,5 \cdot 31,9}$
900 (688) · 4900		

Die für eine Zahnradbahn außergewöhnlich hohe Zugleistung hat die Wirtschaftlichkeit dieses Bahnbetriebes sehr gehoben.

Abb. 169 zeigt diese Maschine, Abb. 170 einen Bahnabschnitt auf der chilenischen Seite und Abb. 171 das Längsenprofil der Transandinobahn.

Für die Central-North-Railway in Bolivia, die chilenische Längsbahn, die teilweise im Pazifikabhang der Anden verläuft, und die Bahn Arica-La Paz wurden 1910/11 Lokomotiven nach Abb. 166 geliefert.

ZAHNRADLOKOMOTIVEN

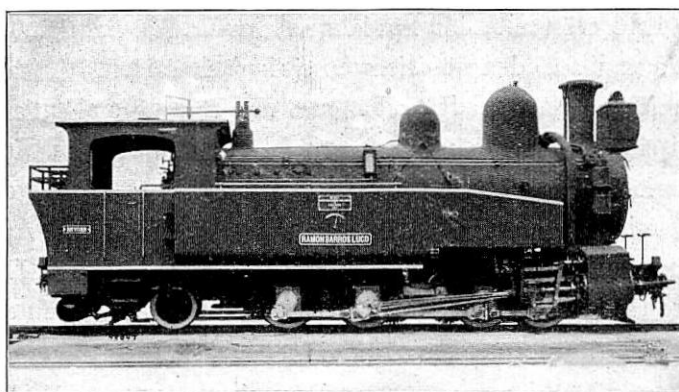


Abb. 166 { Bolivia Nr. 97 bis 99.  
Chil. Long. Nr. 2 bis 6.  
Arica-La Paz Nr. 1 bis 2.

Fabrik-Nr. }	3316	3606	3666	3561	$\frac{480/430 \cdot 500/450}{940 (688) 6085}$	12	$\frac{2,37 \cdot 147,9}{47 \cdot 63,5 \cdot 51,5}$
	3318	3609	3667	3562			
Baujahr	1905	1911	1912	1910			

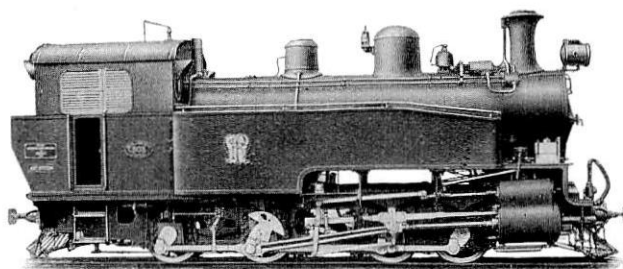


Abb. 167. Manilabahn Nr. 301 bis 303.

Fabrik-Nr.	3707. 3709	$\frac{465/440 \cdot 500/450}{920 (726) 5050}$	12	$\frac{1,76 \cdot 83,3 (24)}{39,16 \cdot 49,24}$
Baujahr	1914			

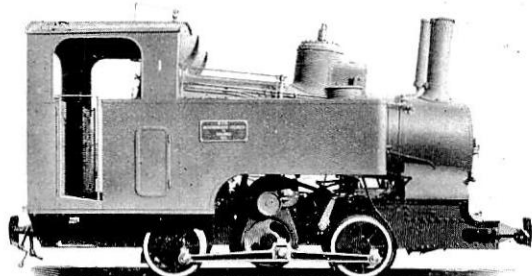


Abb. 168. Leukerbad Nr. 1.

Fabrik-Nr.	3726		
Baujahr	1914		
	$\frac{300 \cdot 380}{700 (688) 2150}$	12	$\frac{0,78 \cdot 34,1}{13,96 \cdot 17,76}$



Abb. 169. Transandino-Bahn Nr. 9. 11.

Fabrik-Nr.	3477. 3633		
Baujahr	1908 1911		
	$\frac{390/540 \cdot 500/450}{910 (688) \cdot 8933}$	15	$\frac{2,37 \cdot 147,9}{47 \cdot 63,5 \cdot 51,5}$

Die im Jahre 1913 eröffnete, 439 km lange Arica-La Paz-Bahn stellt die Verbindung zwischen dem noch auszubauenden nördlichsten chilenischen Hafen Arica von 3 m Meereshöhe mit der bolivianischen Hauptstadt La Paz her. Die Endstation liegt auf 4083 m Meereshöhe. Die bolivianische Hochebene wird schon bei 140 km in 3917 m Meereshöhe erreicht, der höchste Bahnpunkt liegt in 4237 m Meereshöhe. Durch Anwendung einer 36 km langen Zahnstangenstrecke mit 1240 m Höhendifferenz zwischen Ein- und Ausfahrt und 60‰ Höchststeigung ist für das silber-, kupfer- und zinnreiche bolivianische Hochland eine Verbindung zum Meere erreicht worden, die gegenüber dem vorher gebauten Bahnweg Antofagasta—La Paz um 750 km kürzer ist.

Für die schweren Güterzüge von 200 t Bruttolast genügten die Lokomotiven nach Abb. 166 nicht mehr, die große Kesselleistung verlangte konstruktive Maßnahmen, die sich



Abb. 170. Transandino-Bahn.

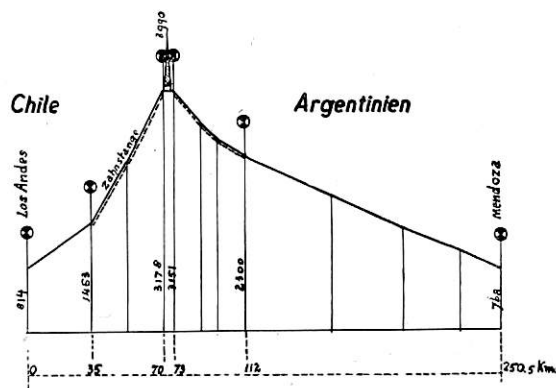


Abb. 171. Längenprofil der Transandino-Bahn.

bereits bei den Transandino-Lokomotiven bewährt hatten und die auch der chilenischen Behörde besonders geeignet erschienen.

Die 1913 von Eßlingen gelieferten schweren meterspurigen Adhäsions- und Zahnradlokomotiven von 92 t Dienstgewicht (Abb. 172) haben fünf gekuppelte Adhäsionsachsen, zwei Laufachsen und zwei Treibzahnradachsen für die zweilamellige Zahnstangenstrecke. Sie sind zur Zeit die schwersten überhaupt gebauten Zahnradlokomotiven und für ihre Ausführung ist ein Ausspruch bemerkenswert, den eine nordamerikanische Weltausstellungskommission auf einer Propagandareise beim Vorzeigen der Maschine geprägt hat: „That's Bosch-work.“ Auf die erstaunte Entgegnung, daß die Lokomotive nicht Bosch-, sondern Eßlinger Fabrikat sei, wurde entgegnet, daß in Nordamerika hochwertige Qualitätsarbeit mit Bosch-work\*) bezeichnet werde.

\*) Stuttgarter Magnetzündfabrik.

ZAHNRADLOKOMOTIVEN

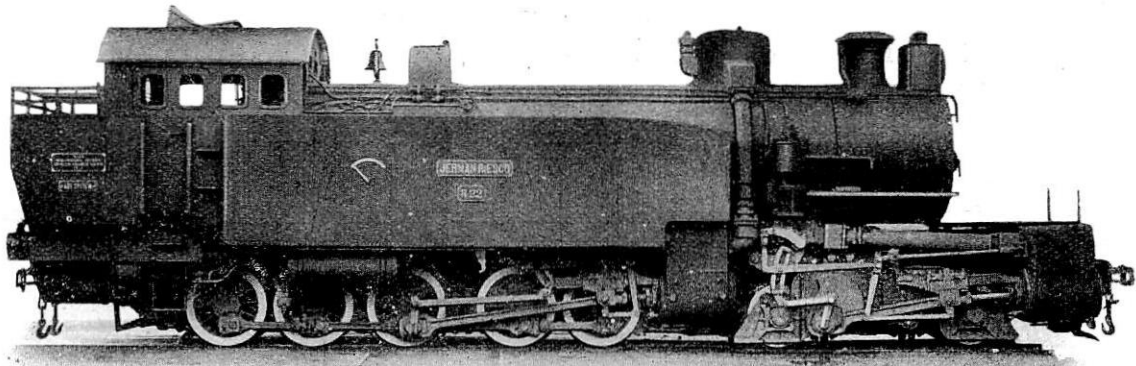


Abb. 172. Arica-La Paz-Bahn Nr. 21 bis 23.  
Fabrik-Nr. der Filiale Saronno 479 bis 481. Baujahr 1913

$$\frac{950(878\frac{1}{2}) \cdot 8870}{500/500 \cdot 480/480} \quad 15 \quad \frac{3,2 \cdot 189}{75,5 \cdot 92 \cdot 65,66}$$



Abb. 173. Arica-La Paz-Bahn.

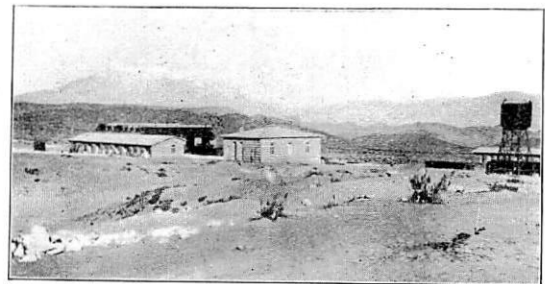


Abb. 174. Arica-La Paz-Bahn.  
Puquios, Endstation der Zahnstange.

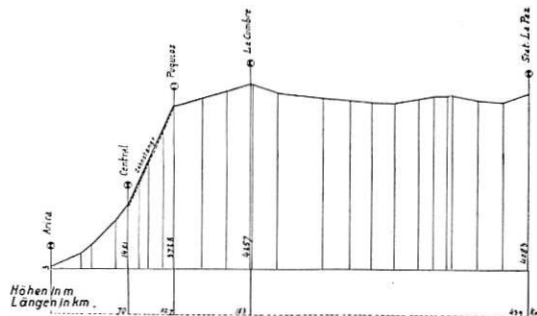


Abb. 175. Arica-La Paz-Bahn.

Die Abb. 173 zeigt einen Streckenabschnitt der Bahn, Abb. 174 die Endstation der Zahnstangenstrecke in 3728 m Meereshöhe mit dem Vulkan Putre im Hintergrund. Das Längenprofil der Bahn ist durch Abb. 175 dargestellt.

Die dritte Art von Zahnstangensystem ist das System Strub; die Zahnform ist durch Ausarbeitung von Zahnlücken aus dem keilförmigen Schienenkopf einer gewalzten Schiene hergestellt.

Die Bauart der Lokomotiven für dieses System, die hauptsächlich nach Italien und Sizilien geliefert wurden, unterscheidet sich von den bereits erläuterten Großleistungslokomotiven für die Riggenbach-Zahnstange in keiner Weise.

## ELEKTRISCH BETRIEBENE ZAHNRADBAHNEN

Die Elektrifizierung der Zahnradbahnen setzte schon verhältnismäßig früh ein, bemächtigte sich aber vorerst nur der leichten Touristenbahnen.

Schon im Jahre 1902 wurde die reine Zahnradbahn Stuttgart-Degerloch für elektrischen Betrieb mit Gleichstrom eingerichtet. Für den starken Personenverkehr wurden auf der kurzen Strecke Zahnradmotorwagen für geeignet gehalten, deren Triebgestelle nach Abb. 176 die Maschinenfabrik zu liefern hatte. Der Raummangel unter dem Wagenkasten und die Besonderheit des elektrischen Antriebs durch eine große doppelte Zahnradübersetzung erforderte eine gedrängte Bauart, die dadurch erreicht ist, daß die große Laufachse als Zahnradachse benutzt wurde. Das Treibzahnrad läuft lose auf der Laufachse und wird durch doppeltes Stirnrädervorgelege von dem Motor angetrieben, der seinerseits durch eine weitere kleine Laufachse federnd unterstützt ist. Ein guter Zahneingriff beider Treibzahnräder ist durch diese Anordnung sowohl in Kurven als auch in Gefällbrüchen gesichert.

Die erste elektrisch betriebene Alpenbahn in Deutschland wurde im Jahre 1912 mit der Wendelsteinbahn in Oberbayern eröffnet. Abb. 177 zeigt das Längenprofil dieser Bahn.

In Meterspur ausgeführt, überwindet sie auf 9,7 km Länge einen Höhenunterschied von 1351 m durch 3,9 km Adhäsionstrecken mit max. 37‰ Steigung und 5,8 km Zahnstangenstrecken mit Strubzahnstange von 237,5‰ max. Steigung.

Von den Lokomotiven wurde die Beförderung von zwei Personenwagen von zusammen 18 t Dienstgewicht mit den Geschwindigkeiten von 7 km/Std. auf der Zahnstange und 15 km auf den Adhäsionstrecken verlangt. Da aus Raum- und Gewichtsgründen nur zwei Motoren verwendet werden konnten und der erforderliche Zahndruck zwei Zahnräder bedingte, wurde das Triebwerk der Maschine in zwei gleiche Teile zerlegt, von denen jeder einen Adhäsionsantrieb und einen Zahnradantrieb umfaßt. Jeder Teil wird von einem Motor angetrieben, so daß beide Teile nur elektrisch voneinander abhängig sind.

Die Maschine besitzt eine Einrichtung, die ihre Verwendung als reine Zahnradmaschine oder als Adhäsions- und Zahnradmaschine gestattet. Besondere Vorkehrungen sind getroffen, daß auf der Zahnstange die Adhäsionsräder gegenüber den Treibzahnrädern schlüpfen können, falls durch Abnutzung der Adhäsionsräder die jeweiligen Umfangsgeschwindigkeiten nicht mehr übereinstimmen. Die für die Motoren schädlichen Triebwerkstöße werden durch

ZAHNRADLOKOMOTIVEN

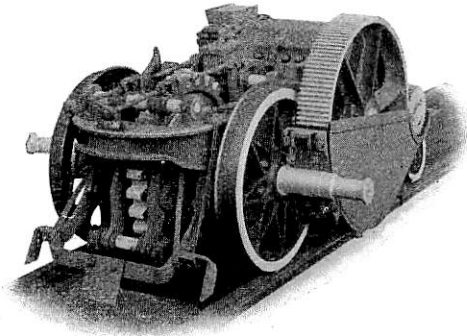


Abb. 176. Stuttgart-Degerloch.  
Triebwerk zum Zahnradwagen.

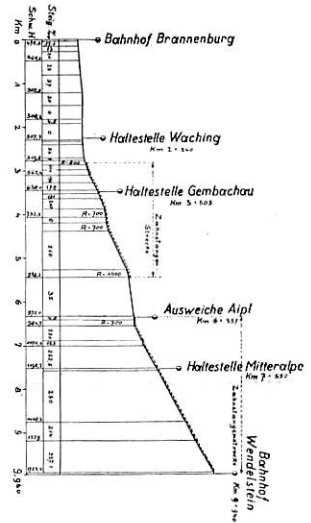


Abb. 177. Wendelsteinbahn.



Abb. 178. Wendelsteinbahn Nr. 1 bis 3.  
Fabrik-Nr. 3627 bis 3629  
Baujahr 1911

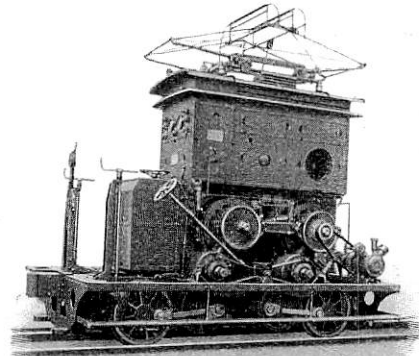


Abb. 179.

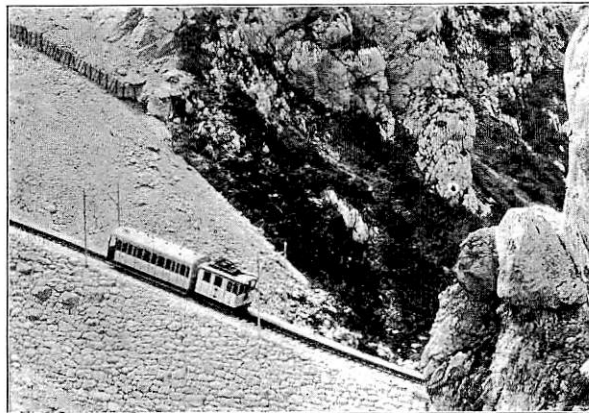


Abb. 180. Wendelsteinbahn.

Rutschkupplungen abgefangen. Die Maschine besitzt weitgehende Sicherungen gegen alle Gefahrfälle. Die Bremsung bei Talfahrt erfolgt elektrisch mit Stromrückgewinnung und kann auch bei Oberleitungstörung mit eingezogenem Stromabnehmer durchgeführt werden. Aus diesem Grunde fanden Nebenschlußmotoren Verwendung.

Zwei voneinander unabhängige Bandbremsen, eine Adhäsionsbremse und eine Geschwindigkeitsbremse, die bei Geschwindigkeitsüberschreitung auf der Zahnstange selbsttätig wirkt und auch von den Wagen aus pneumatisch ausgelöst werden kann, vervollständigen



Abb. 181. Usui-Toge-Bahn.



Abb. 182. Zahnradlokomotive für Werksbahnen.

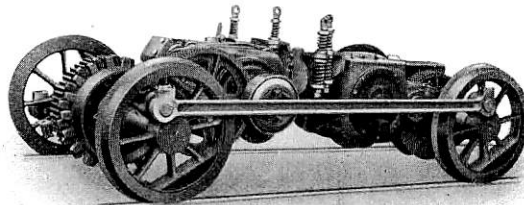


Abb. 183. Triebwerk zu Abb. 182.

die für eine Touristenbahn besonders notwendige Sicherheit. Der Regulator für die Geschwindigkeitsbremse ist mit einer patentierten Einrichtung versehen, welche die Bremsauslösung nur auf den Zahnstangenstrecken bei der Zahnstangenhöchstgeschwindigkeit vornimmt, auf den Adhäsionstrecken dagegen jede Fahrgeschwindigkeit zuläßt.

Abb. 178 und 179 zeigen die Maschine fahrbereit und mit abgehobenem Oberkasten, die Abb. 180 eine Streckenansicht der Wendelstein-Bahn.

Vom Jahre 1910/11 ab wurde die Bahn Usui-Toge in Japan von 1067 mm Spurweite elektrisch betrieben, für die die Maschinenfabrik im Jahre 1893 und 1909 sieben Dampf-Adhäsions- und Zahnradlokomotiven, System Abt, geliefert hatte. Die 1911 gelieferten zwölf Stück elektrischen Lokomotiven haben drei gekuppelte Adhäsionsachsen und zwei

ZAHNRADLOKOMOTIVEN

Tabelle XI.

Von der Maschinenfabrik Eßlingen bis 1921 ausgeführte Zahnradbahnen.

Nr.	Benennung	Jahr	Spurweite m	Länge der Zahnstangen- strecken km	Größte Steigerung %	Anzahl der Zahnrad- Lokomotiven	Bauart
1	Königswinter—Drachenfels . . . . .	1884	1,00	2,0	20,0	3	Reines Zahnrad, Riggenbach
2	Rüdesheim—Niederwald . . . . .	1884	1,00	2,4	20,0	4	desgl.
3	Stuttgart—Degerloch . . . . .	1885	1,00	2,0	17,2	10	Reines Zahnrad, Riggenbach (ab 1902 elektrisch betrieben)
4	Zakarotz, Ungarn . . . . .	1885	1,00	4,3	15,0	2	Gemischtes System, Riggenbach
5	Aßmannshausen—Niederwald . . . . .	1885	1,00	1,5	20,0	3	Reines Zahnrad, Riggenbach
6	Harzbahn, Blankenburg—Tanne . . . . .	1885/1915	1,435	7,5	6,0	12	Gemischtes System, Abt
7	Neapel—Salvator Rosa . . . . .	1886	1,435	0,8	7,0	3	Gemischtes System, Riggenbach
8	Salzburg—Gaisberg . . . . .	1887	1,00	5,5	25,0	4	Reines Zahnrad, Riggenbach
9	Langres, Frankreich . . . . .	1887	1,00	1,5	17,2	2	Gemischtes System, Riggenbach
10	Indian Railways (Bonlan-Paß) . . . . .	1887	1,676	11,3	5,0	2	Gemischtes System, Abt
11	Padang, Sumatra . . . . .	1889/1920	1,067	35,0	8,0	43	Gemischtes System, Riggenbach
12	Königswinter—Petersberg . . . . .	1889	1,00	1,4	26,0	2	Reines Zahnrad, Riggenbach
13	Achenseebahn, Jenbach . . . . .	1889	1,00	3,36	16,0	3	Gemischtes System, Riggenbach
14	Eschweiler Bergwerks-Verein . . . . .	1889	1,435	0,5	7,0	3	desgl.
15	Stahlwerke Bochumer Verein . . . . .	1890/1913	1,435	0,3	5,55	2	desgl.
16	Corcovado-Bahn, Brasilien . . . . .	1890	1,00	1,47	26,0	1	Reines Zahnrad, Riggenbach
17	Villa Nova de Gaya, Oporto . . . . .	1891	1,670	0,75	12,5	2	Gemischtes System, Riggenbach
18	Petropolis, Brasilien . . . . .	1891	1,00	2,0	15,0	4	Reines Zahnrad, Riggenbach
19	Honau—Lichtenstein, Württemberg . . . . .	1892/1912	1,435	2,13	10,0	5	Gemischtes System, Riggenbach
20	Funchal, Madeira . . . . .	1892	1,00	4,8	25,0	4	Reines Zahnrad, Riggenbach
21	Usui—Toge-Bahn, Japan . . . . .	1893	1,067	7,77	6,67	19	Gemischtes System, Abt (ab 1911 elektrisch betrieben)
22	Transvaal, Z.A.S.M. . . . .	1893	1,067	3,78	5,0	4	Gemischtes System, Riggenbach
23	Zuckerfabrik Weferlingen . . . . .	1895	1,435	0,23	5,0	1	desgl.
24	Lehesten, Thüringen . . . . .	1898	1,435	1,30	8,0	1	Gemischtes System, Abt
25	Brohltalbahn a. Rhein . . . . .	1899/1913	1,00	4,37	5,0	3	desgl.
26	Eulengebirgsbahn . . . . .	1900	1,435	4,30	6,0	3	desgl.
27	Freudenstadt-Klosterreichenbach . . . . .	1900	1,435	5,62	5,0	5	Gemischtes System, Riggenbach
28	Ilmenau-Schleusingen . . . . .	1901	1,435	4,34	6,25	3	Gemischtes System, Abt
29	Djamboe—Pingit, Java . . . . .	1902	1,067	5,6	6,5	5	Gemischtes System, Riggenbach
30	Theresopolis, Brasilien . . . . .	1903	1,00	4,30	15,0	2	Reines Zahnrad, Riggenbach
31	Oberlausitzer Kreiseisenbahn . . . . .	1903	1,43	1,70	5,0	3	Gemischtes System, Abt
32	Central North-Rwy., Bolivia . . . . .	1904	1,005	9,6	6,0	3	desgl.
33	Holzstoff-Fabrik Albruck . . . . .	1905	1,435	0,4	8,0	2	desgl.

Übertrag | 168

ZAHNRADLOKOMOTIVEN

Nr.	Benennung	Jahr	Spurweite m	Länge der Zahnstangen- strecken km	Größte Steigerung %	Anzahl der Zahnrad- lokomotiven	Bauart
	Übertrag					168	
34	Leopoldina Rwy. Comp., Brasilien .	1905/14	1,00	6,0	15,0	13	Reines Zahnrad, Riggenbach
35	Benguella, Südwest-Afrika . . . .	1905/06	1,067	2,12	6,25	4	Gemischtes System, Riggenbach
36	Papierfabrik Kinsau a. Lech . . . .	1905	1,435	0,36	15,0	1	desgl.
37	Italienische Staatsbahn für Sizilien.	1907/12	0,950	25,0	7,5	20	Gemischtes System, Strub
38	Buenos-Aires und Valparaiso-Trans- andine Rwy. Cy. Y. . . . .	1908	1,00	50,0	8,0	2	Gemischtes System, Abt
39	Großh. Badische Staatsbahn, für die Höllentalbahn. . . . .	1909/21	1,435	7,17	5,5	7	Gemischtes System, Riggenbach
40	Arica—La-Paz Rwy., Chile . . . .	1910/13	1,00	36,0	6,0	5	Gemischtes System, Abt
41	Chilian-Longitudinal Rwy., Chile .	1910/11	1,00	27,5	6,0	8	desgl.
42	Wendelsteinbahn, Bayern . . . . .	1911	1,00	6,5	23,0	3	Gemischtes System, Strub (elektrisch betrieben)
43	Aringay—Baguio Manila . . . . .	1912/13	1,067	14,1	12,0	3	Gemischtes System, Abt
44	Leuk—Leukerbad, Schweiz . . . .	1913	1,00	4,6	16,0	1	desgl.
45	Metall- und Farbwerke Oker, Harz	1921/22	1,435	0,3	11,1	2	Gemischtes System, Abt (elektrisch betrieben)
						237	

gekuppelte Treibzahnäder. Das Adhäsionstriebwerk wird von einem hochliegenden Motor durch Zahnradübersetzung, Treibstangen und Blindwelle angetrieben, das nach dem Abt-System mit zwei Adhäsionsachsen im Zahnradrahmen aufgehängte Zahnradtriebwerk ebenfalls von einem besonderen Motor durch Zahnradübersetzung und senkrechte Treibstangen. Abb. 181 zeigt die Lokomotive mit einem Zug auf der Strecke.

Den neuesten Typ auf dem Gebiete der elektrisch betriebenen Zahnradlokomotiven stellt Abb. 182 dar. Diese normalspurige Adhäsions- und Zahnradlokomotive mit einem Treibzahnrad ist hauptsächlich für Rangierzwecke auf Steilrampen bestimmt und eignet sich vorzugsweise für Industriebetriebe, bei denen ein direkter Bahnanschluß nur durch Vermittlung einer Steilrampe möglich ist.

Das Triebwerk, Abb. 183, weist einen Zahnradmotor auf, der das auf einer Adhäsionsachse lose laufende Treibzahnrad antreibt, während die andere Achse von dem Adhäsionsmotor angetrieben wird. Beide Adhäsionsachsen sind durch Kuppelstangen verbunden.