

# INHALT

1.	Bemerkung .....	1	5.	Die Maschinenfabrik und Eisengießerei Hermann Michaelis, Chemnitz ....	119
2.	Die Entwicklung des städtischen Nahverkehrs .....	5	5.1	Chemnitz, ein Industriestandort mit Tradition .....	119
2.1	Veränderungen im Stadtleben und Beförderungsbedarfe .....	5	5.2	Zur Person, der Firmengründer und seine Zeit .....	121
2.2	Öffentliche Personen-Fuhrwerke:		5.3	Das Unternehmen, von der Werkstatt zur Fabrik .....	122
	Die Grenzen des Systems Pferde und Wagen .....	11	5.4	Das Produktionsprogramm, Eigenbedarf und Diversifikation .....	124
2.3	Der Pferdebus wird auf Schienen gesetzt: Die Pferdeisenbahn .....	17	5.5	Die Dampfwagen von Michaelis .....	127
2.4	Die Pferdeisenbahn wird motorisiert: Die Straßenbahn .....	19	5.5.1	Mut zum Risiko .....	127
2.4.1	Bemerkung .....	19	5.5.2	Die ersten Dampf-Frachtwagen .....	128
2.4.2	Straßenbahnen mit Dampftrieb .....	21	5.5.3	Die Dampfbusse .....	143
2.4.3	Straßenbahnen mit Drucklufttrieb .....	32	5.5.4	Der Dampf-Sportwagen .....	146
2.4.4	Straßenbahnen mit elektrischem Antrieb .....	33	5.6	Der Einsatz der Dampf-Selbstfahrer von Michaelis .....	147
2.4.5	Straßenbahnen mit Antrieb durch Explosionsmotoren .....	35	5.7	Die Produktionstechnik, von der Handarbeit zur Maschinenarbeit .....	148
2.4.6	Straßenbahnen mit äußerem Antrieb und Mischsysteme mit innerem und äußerem Antrieb .....	37	5.8	Die Konstruktionstechnik, von den kleinen Schritten zu den großen .....	149
2.4.7	Öffentlicher Personenverkehr mit „fahrzeuglosen“ Systemen .....	38	6.	Die Rekonstruktion des Dampfbusse .....	153
2.5	Expressmaschinen, Triebwagen und Schienenbusse .....	39	6.1	Vorgehensweise .....	153
2.6	Die Dampfwagen und Dampfbusse .....	53	6.2	Beschaffung aller verfügbaren Informationen .....	155
2.7	Der Omnibus mit elektrischem Antrieb .....	71	6.3	Bewertung und Abgleich der Informationen .....	156
2.8	Der Omnibus mit Verbrennungsmotor setzt sich durch .....	79	6.4	Die geometrische Rekonstruktion des Vorbilds .....	165
2.9	Der öffentliche Verkehr der schienenlosen Selbstfahrer am Ende des 19. Jahrhunderts .....	88	6.5	Die Abschätzung der Größe des Dampfbusse .....	173
2.9.1	Nutzung und Ausblick .....	88	6.6	Die Abschätzung der technischen Ausführung .....	177
2.9.2	Gesetzliche Regelungen und Betriebsvorschriften .....	90	7.	Das Modell des Dampfbusse .....	179
2.9.3	Konzessionen und Selbstfahrerlinien .....	91	7.1	Allgemeine Festlegungen .....	179
3.	Zur Geschichte der Dampf-Selbstfahrer deutscher Hersteller im 19. Jahrhundert .....	93	7.2	Die Modellskizze .....	180
3.1	Abgrenzung .....	93	7.3	Das Modell-Package .....	182
3.2	Versuch eines Überblicks .....	94	7.4	Der Entwurf des Modells .....	185
3.2.1	Bemerkung .....	94	7.5	Das weitere Vorgehen .....	188
3.2.2	Herstellerübersicht .....	94	8.	Erforderliche Werkstattausrüstung .....	189
4.	Entwicklungsfelder und Typologie der Straßenfahrzeuge mit Dampftrieb .....	103	9.	Verwendete Materialien und Bezugsquellen .....	189
4.1	Bemerkung .....	103	10.	Das Modell des Dampfbusse von Michaelis .....	191
4.2	Straßenfahrzeuge als schwere, langsamfahrende, lokomotivähnliche Konstruktionen mit meist direktem Antrieb der Räder .....	104	10.1	Bemerkung .....	191
4.2.1	Entwicklung und Bauformen der schweren, „lokomotivähnlichen“ Dampfswagen .....	104	10.2	Zeichnungen des Gesamtmodells .....	192
4.2.2	Dampfschlepper und Dampf-Zugmaschinen .....	105	10.3	Baugruppen und Zeichnungsübersicht .....	195
4.2.3	Dampf-Frachtwagen .....	108	10.4	Übersicht der Bedienelemente .....	196
4.2.4	Dampfswagen zur Personenbeförderung und Dampfbusse .....	112	10.5	Fotografien des Modells .....	199
4.3	Die anderen Entwicklungslinien der Dampfswagen zur Beförderung von Personen .....	113	10.6	Die Kosten des Modells .....	202
			10.7	Montagehilfe für das Modell .....	202
			11.	Die Baugruppen des Dampfbusse .....	203
			11.1	Baugruppe 1: Rahmen .....	203
			11.2	Baugruppe 2: Dampfkessel .....	209
				Unterbaugruppe 2.1: ZB Dampfkessel	
				Unterbaugruppe 2.2: ZB Brennerkammer	
				Unterbaugruppe 2.3: ZB Kesselverkleidung	
				Unterbaugruppe 2.4: ZB Gastank	
				Unterbaugruppe 2.5: Armaturen (Beispiele)	

11.3	Baugruppe 3: Dampfzylinder .....	233
11.4	Baugruppe 4: Vorderachse .....	247
11.5	Baugruppe 5: Hinterachse .....	253
11.6	Baugruppe 6: Fahrzeugvorderteil .....	261
	Unterbaugruppe 6.1: ZB Seitenkästen	
	Unterbaugruppe 6.2: ZB Kohlebehälter (mit Deckel)	
	Unterbaugruppe 6.3: ZB Umsteuerhebel	
	Unterbaugruppe 6.4: ZB Lenkung	
	Unterbaugruppe 6.5: ZB Bremse	
	Unterbaugruppe 6.6: ZB Dampfpfeifenbetätigung	
	Unterbaugruppe 6.7: ZB Armaturen (Hauptventil, Öler)	
11.7	Baugruppe 7: Kabine und Perron .....	283
11.8	Baugruppe 8: Sonstige Baugruppen und Teile .....	299
	Unterbaugruppe 8.1: ZB Kondensatbehälter	
	Unterbaugruppe 8.2: Speisepumpe mit Behälter (Entwurf)	
11.9	Baugruppe 9: Leitungsplan .....	303
12.	Der Zusammenbau des Modells .....	305
12.1	Bemerkung .....	305
12.2	Probemontage .....	305
12.3	Funktionstests des Modells .....	306
13.	Lackierung .....	307
14.	Zusammenbau des lackierten Modells .....	309
15.	Betrieb des Modells und Modelldokumentation .....	315
16.	Quellen- und Literaturhinweise .....	317

## 2.4.2 Straßenbahnen mit Dampfantrieb

Praktisch begonnen hatte der Einsatz der Dampfkraft im *innerstädtischen Betrieb* von „Straßenbahnen“ mit einer Idee des englischen Ingenieurs Grantham. Grantham erhielt 1871 ein Patent auf seinen Dampf-Straßenbahnwagen. Das Fahrzeug besaß je einen stehenden Kessel an jedem Wagenende. Die liegende Dampfmaschine war unter dem Wagenboden angeordnet. Um einen Betrieb ohne sichtbares Entweichen von Dampf zu ermöglichen, wurde der Abdampf in einem System aus Röhren mit Kühlung durch die Umgebungsluft niedergeschlagen. Zur Bedienung der gesamten Maschineneinrichtung reichte eine Person aus. Sie konnte von jedem Wagenende alle zum Betrieb notwendigen Funktionen ausführen. Der erste Wagen wurde im Jahr 1872 gebaut. Die Kessel waren mit Feldröhren ausgestattet. Der Dampfdruck lag bei 6,5 at. Das Leergewicht des Wagens betrug 6,5 Tonnen. Im Jahr 1873 wurde erstmals ein Dampfwagen dieses Typs auf eisernen Bahnen eingesetzt. Er bediente in London einige Monate die Strecke zwischen Victoria-Station und Vauxhall. Als Besonderheit besaß das Fahrzeug eine Einrichtung, die einen Betrieb sowohl auf gleislosen Strecken als auch auf Schienen ermöglichte. Es waren zwei Paar Achsen vorhanden, die, je nach Bedarf, wechselweise in Einsatz gebracht werden konnten. Das eine Paar Achsen hatte Räder ohne Spurkranz, eine Achse war lenkbar. Das andere Paar Achsen hatte „Flanschräder“. Die Führung des Wagens besorgte dann das Gleis. Straßenbahnen mit Dampfantrieb waren in englischen Städten wenig verbreitet, auch nicht in London. Die gesetzlichen Regelungen zum Betrieb waren sehr restriktiv. Man scheute auch die hohen Investitionen in ein Schienennetz. Einige Vertreter des öffentlichen Lebens waren der Meinung, dass so ein System den innerstädtischen Verkehr mehr behindern als fördern würde. Kutschen und Pferdeomnibusse dominierten das Bild des innerstädtischen Verkehrs in London und anderen englischen Städten. Die Ideen Granthams wurden nicht weiter verfolgt.

In Frankreich dagegen erkannte man Ende der 70er Jahre die Potentiale von Dampfwagen für den Straßenbahnbetrieb. Eine ganze Reihe an Herstellern nahm ab 1880 die Fertigung leichter Straßenbahnen mit modernen Dampfantrieben auf. Darunter waren auch einige Fabriken, deren Spezialität schnelle Selbstfahrer für den Verkehr auf Straßen waren.

### Straßenbahnen mit selbstständigen Lokomotiven

Straßenbahnen mit „innerem“ Dampfantrieb, bei denen die gesamte Antriebsenergie im Fahrzeug selbst erzeugt wurde, gab es in zwei Bauweisen. Zum einen als „selbständige Lokomotiven“ und zum anderen als Wagen mit integriertem Dampfantrieb. Der Betrieb von Straßenbahnen mit vorgespannten Lokomotiven hat im öffentlichen Verkehr in den Städten nur vor der Jahrhundertwende kurze Zeit eine Rolle gespielt. Obwohl die Hoffnungen in den 70er Jahren des 19. Jahrhunderts sehr groß waren. In den Bildern 2.1/1 und 2.4.2/1 sind einige selbstständige Straßenbahnlokomotiven wiedergegeben. Sie entsprechen in ihrem prinzipiellen Aufbau den bekannten Lokomotiven kleinerer Normalbahnen. Die im Bild 2.4.2/1 dargestellte Maschine der Berliner Maschinenbau AG zeigt die typische kurze Bauweise mit zwei direkt gekuppelten Achsen. Damit enge Kurvenradien ohne Probleme und störende Geräusche bewältigt werden konnten, wurde der Achsabstand so klein wie möglich gehalten. Alle beweglichen Teile der Maschine, also die Räder, der Kurbeltrieb und der Steuerung, waren sorgfältig verkleidet. Man versuchte dadurch das Scheuen und Durchgehen der Pferde der anderen Verkehrsteilnehmer zu vermeiden. Eine separate Zugmaschine, insbesondere mit Dampfantrieb, hat im innerstädtischen Verkehr viele Nachteile. Da nur sehr wenige Beiwagen mit geringer Geschwindigkeit gezogen wurden (Ausnahmen waren die Vorortbahnen), war zwar der Leistungsbedarf nicht groß und die erforderlichen Maschinen bauten klein, trotzdem brauchte eine separate Lokomotive einfach zu viel „Platz“. Der Rauch und der Geruch der offenen Kesselfeuerung, der entweichende Dampf, die Geräusche der

Maschine, fast alle Merkmale des Dampfbetriebs waren im innerstädtischen Verkehr störend. Weiterhin war ein wirtschaftlicher Vorteil im Vergleich zur Pferdebahn nicht unter allen Betriebsbedingungen gegeben.

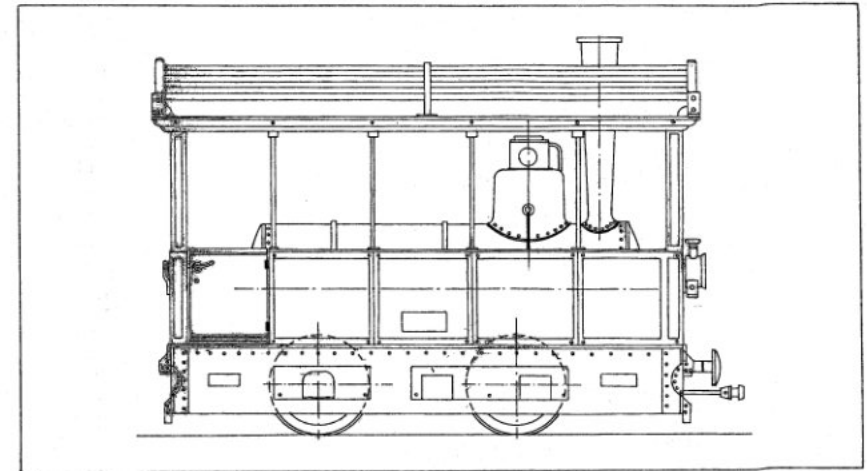


Bild 2.4.2/1: Dampflokomotive für den innerstädtischen Personenverkehr (1890)  
Hersteller: Berliner Maschinenbau AG, vorm. Schwartzkopff, Berlin

Straßenbahnlokomotiven in dieser typischen Bauweise wurden in einer Vielzahl unterschiedlicher Ausführungen serienmäßig hergestellt. Im Bild 2.4.2/2 ist beispielhaft das Spektrum an Straßenbahnlokomotiven eines italienischen Herstellers wiedergegeben. Es war durchaus üblich, dass die verschiedenen Städte eines Provinz und die unterschiedlichen Betreibergesellschaften innerhalb einer Stadt jeweils unterschiedliche Lokomotivkonstruktionen verwendeten.

### Bemerkung:

In der „Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure“ findet man 1879 zum Betrieb von Straßenbahnen folgende Einschätzung:

„Wie wol allgemein bekannt, ist in den letzten Jahren vielfach das Bestreben hervorgetreten, die Zugkraft der Pferde auf den sich jetzt immer mehr verbreitenden Strassenbahnen oder Tramways aus ökonomischen Gründen durch mechanische Zugkraft zu ersetzen. ... In Bezug auf die zur Lösung der Aufgabe eingeschlagenen Wege kann man zwei Richtungen unterscheiden. Die eine, bei weitem überwiegend auftretende, sucht die gewöhnliche selbständige Lokomotive zu verwenden, die ihren Dampf im eigenen Kessel erzeugt, und es erscheint auch diese Lösung der Frage bei dem hohen Grade der Erprobung dieser Maschinen auf unseren Hauptbahnen als die einfachste und naheliegendste. ... Es liegen gegen den Strassenbahnbetrieb mit gewöhnlichen Lokomotiven immer noch mehrfache Bedenken vor, die zwar im Grunde genommen nicht ohne alle Berechtigung sind, meist aber sehr übertrieben werden und dann Schuld sind, dass die massgebenden Behörden einem derartigen Betriebe in der Regel mit großem Misstrauen begegnen. So wirft man demselben z. B. Feuergefährlichkeit vor ...; ferner Verschlechterung der Atmosphäre innerhalb der Städte durch die ausströmenden Heizgase, Belästigung der Fahrenden und Vorübergehenden durch Funken, ausgeworfenes russiges Wasser u. s. w. An manchen Orten verlangt man endlich, dass die Maschinen gar keinen Dampf zeigen, d. h. ihren Abdampf condensieren sollen. Dieses letzte Verlangen erschwert nun die Konstruktion ungemein, und wo man hiervon nicht absieht, wird wol der Dampfbetrieb überhaupt schwer durchzuführen sein. Im Uebrigen lassen sich bei einer gut konstruierten Maschine die oben angeführten Uebelstände so weit reduciren, dass sie zu Bedenken wenig Veranlassung geben.“

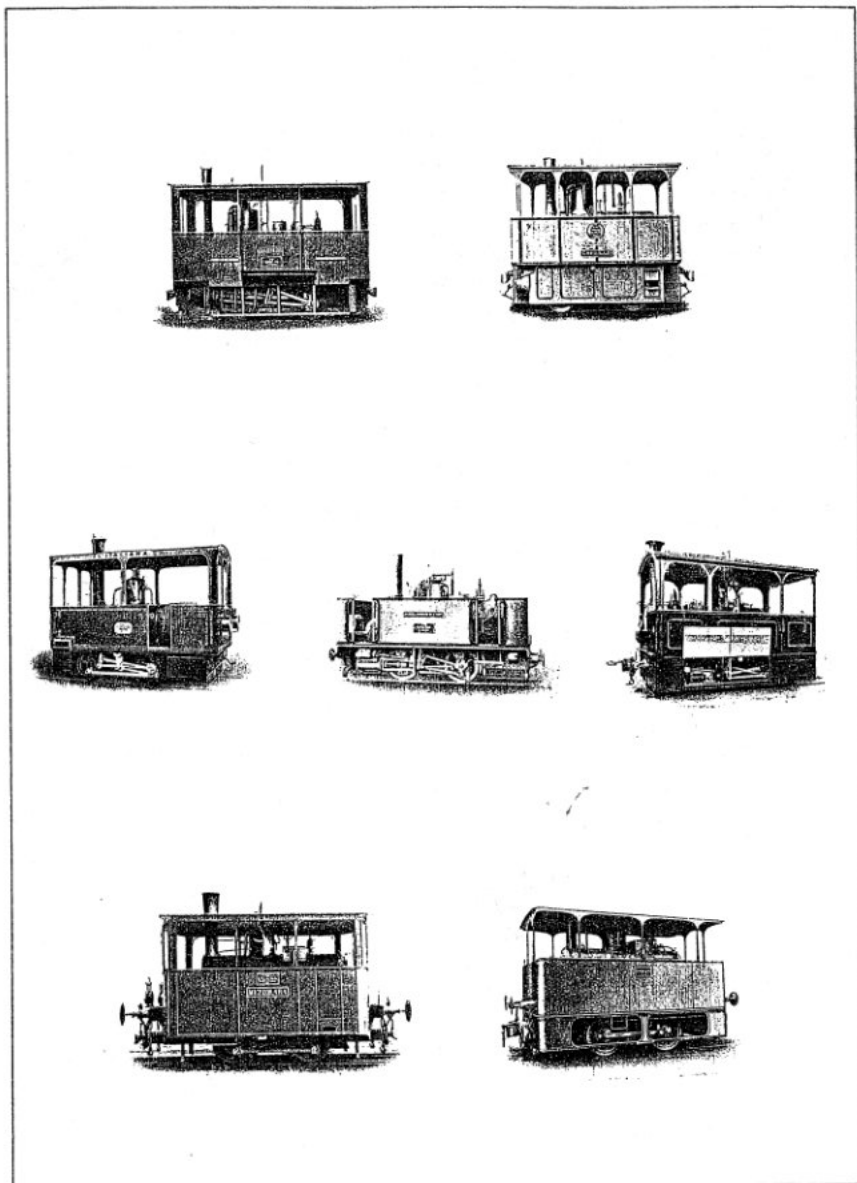


Bild 2.4.2/2: Katalogblatt eines Herstellers von Straßenbahnlokomotiven

Der Betrieb der Straßenbahnlokomotiven erforderte in einigen Fällen eine besondere Anpassung der Gestelle und Achsen an die sehr engen Kurvenradien der Schienen. Wie erwähnt, setzte man bei zweiachsigen Gestellen Achsen so nahe wie möglich zusammen. Wenn drei Achsen zur Übertragung der notwendigen Zugkräfte erforderlich waren, wurde die Konstruktion komplizierter. Die beiden äußeren Achsen mussten sehr beweglich sein. Eine direkte Kopplung kam in diesen Fällen nicht mehr in Betracht. Eine Lösung des Problems zeigt das Bild 2.4.2/3. Dargestellt ist eine 3/3-Lokomotive Bauart Winterthur. Die feste mittlere Achse wurde direkt von der Dampfmaschine über Ketten angetrieben. Die beiden schwenkbaren äußeren Achsen wurden von zwei möglichst nahe zur der Fahrzeugmitte liegenden Kettentrieben beaufschlagt. Die Kettenräder auf den äußeren Achsen besaßen einen speziellen Mechanismus, der einen Ausgleich der Schrägstellung ermöglichte.

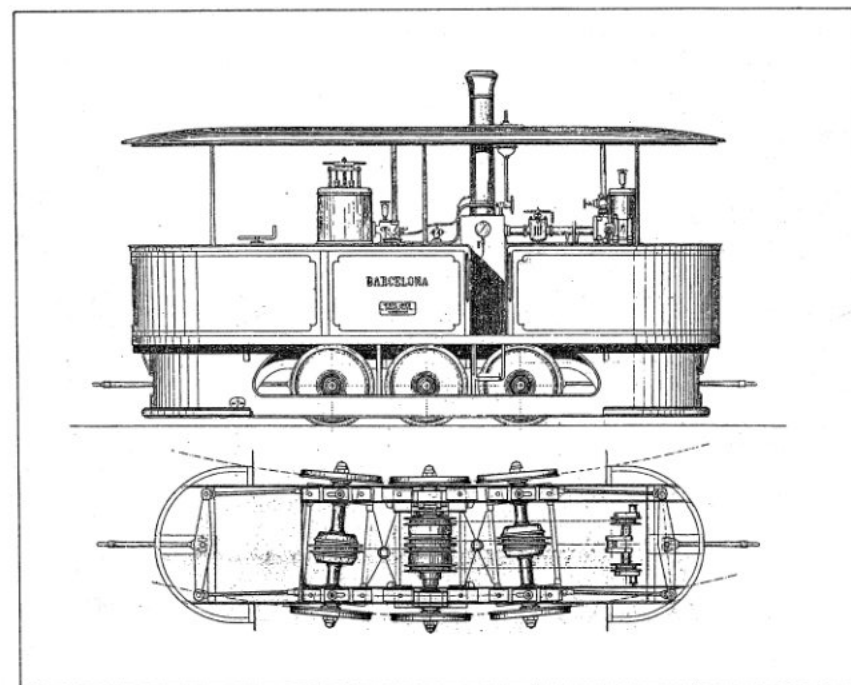
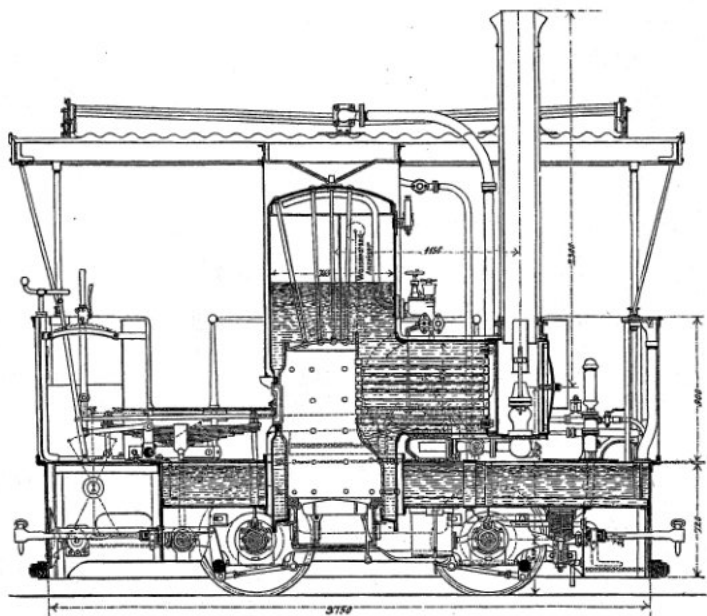


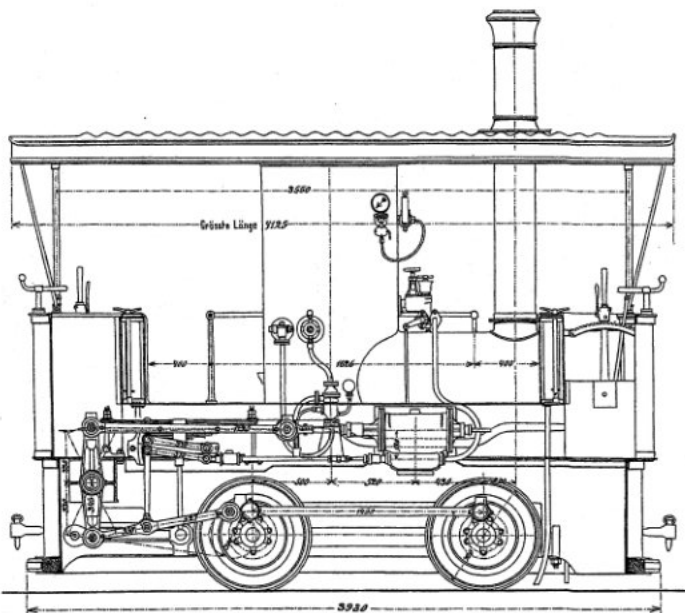
Bild 2.4.2/3: 3/3-Straßenbahnlokomotive Bauart Winterthur (um 1900)

Eine weitere Anpassung bei den Straßenbahnlokomotiven war im Feuerungssystem notwendig. Die Brandgefahr durch den Funkenflug aus dem Kamin war in den Innenstädten zu groß. Bei Kohlefeuerungen wurde der Funkenflug durch das Brennmaterial grundsätzlich vermieden. Bei Kohlefeuerungen und anderen Brennmaterialien führte der erhebliche Zug in den Kaminen zu weit fliegenden Funken. Durch aufwendige Apparate mussten die brennenden Partikel vor oder im Kamin gelöscht werden.

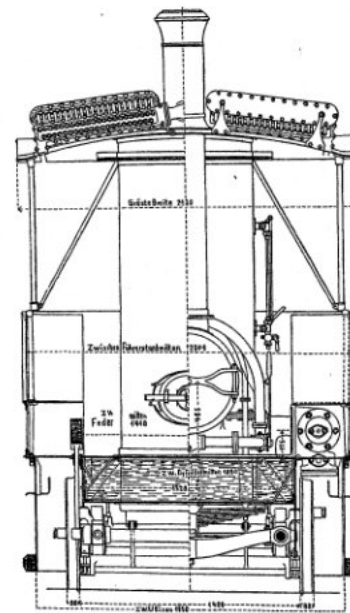




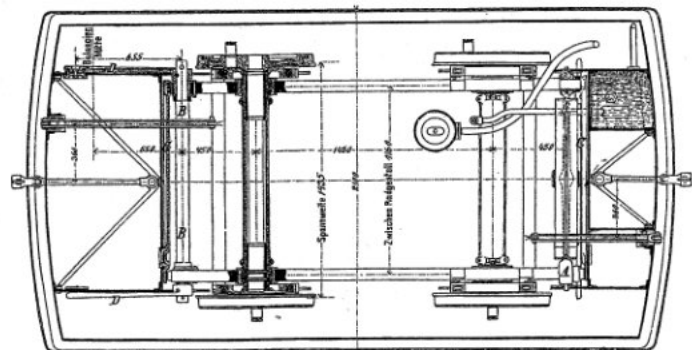
Längsschnitt durch den Kessel.



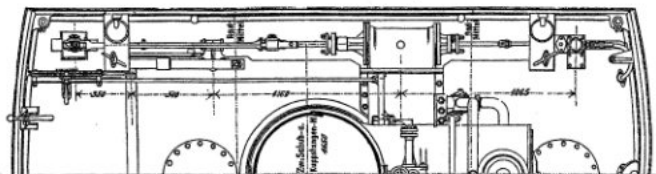
Ansicht der Maschine bei abgenommener Verkleidung.



Schnitt durch den hinteren Führerstand. Schnitt durch den vorderen Führerstand.

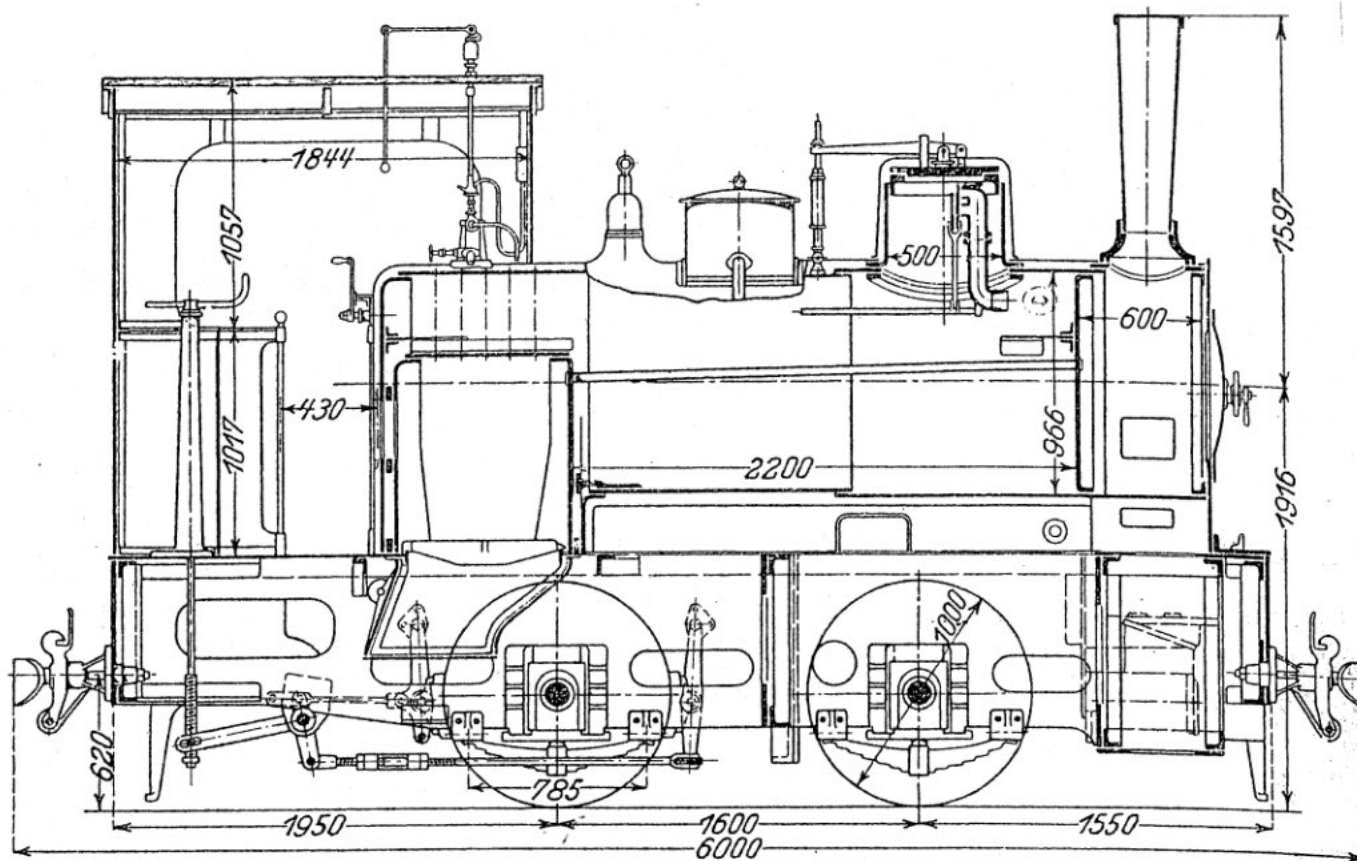


Horizontalschnitte durch das Untergestell.



Grundriss der Maschine mit abgenommenem Dach.

Tafel 2.4/2: Straßenbahnlokomotive (1881)  
 Hersteller: Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik (SLM)  
 Winterthur  
 Patent Brown

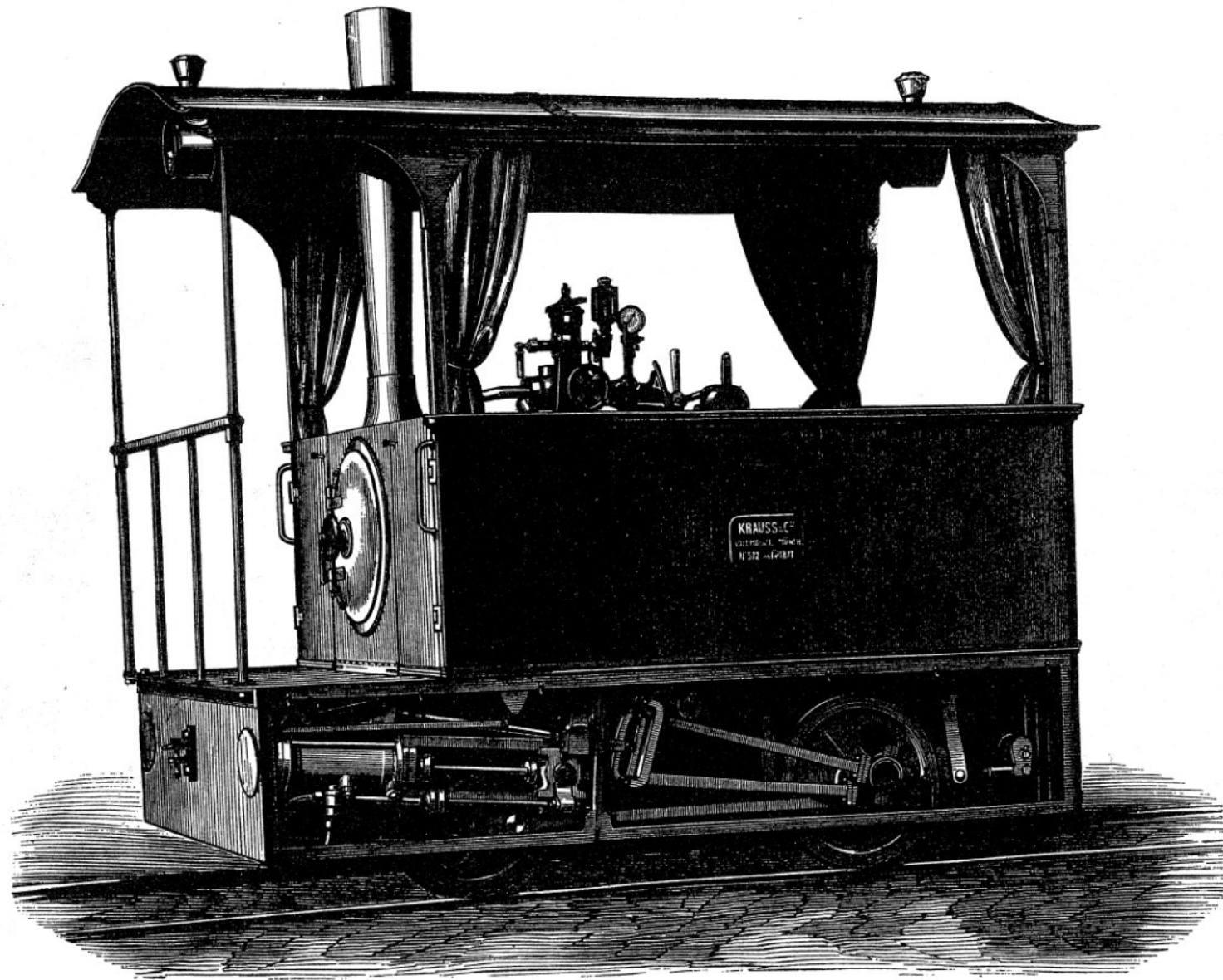


Tafel 2.4/4:  
 Meterspurige  
 Lokomotive  
 einer Vorbahn  
 (1906)  
 2/2 gekuppelt



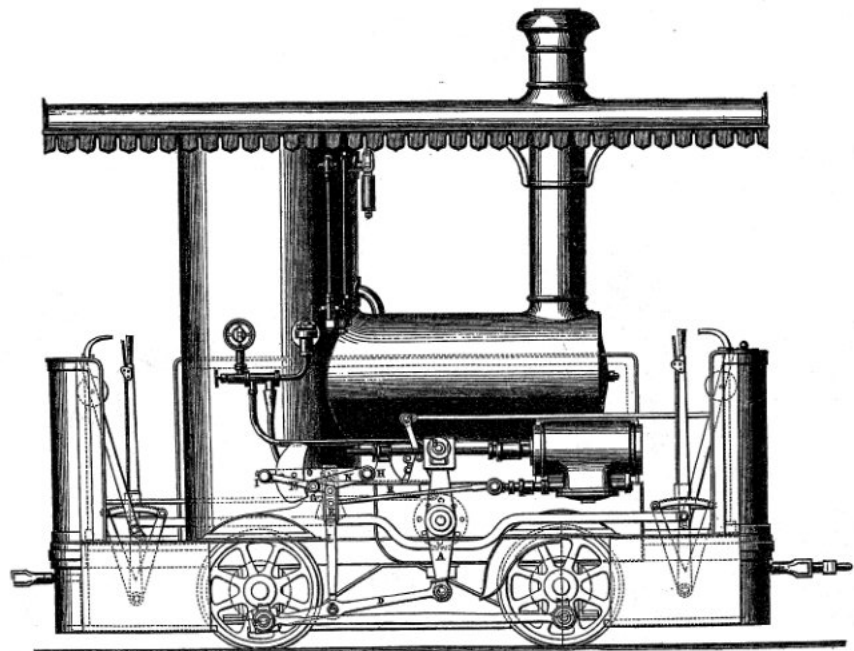




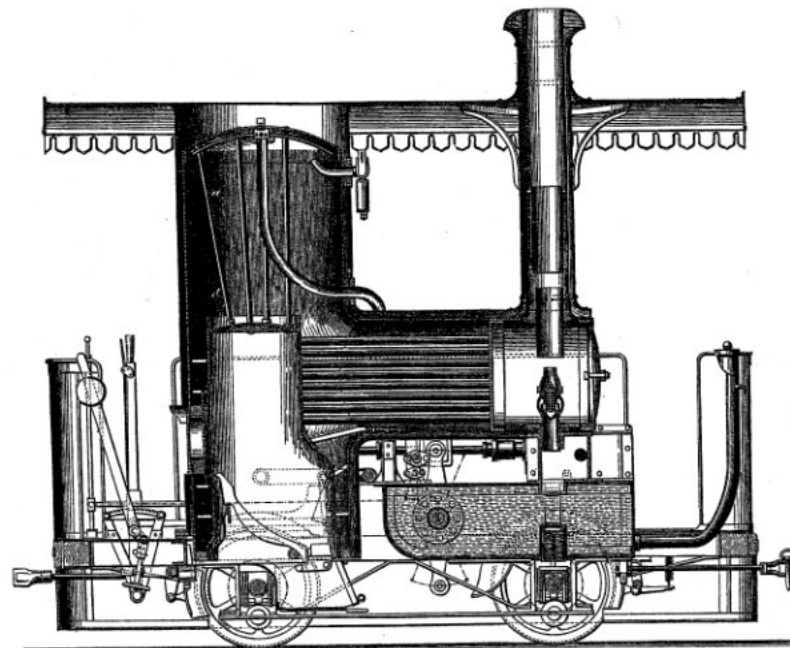


Tafel 2.4/7: Straßenbahnlokomotive (1879)  
Hersteller: Lokomotivfabrik Krauss & Co, München

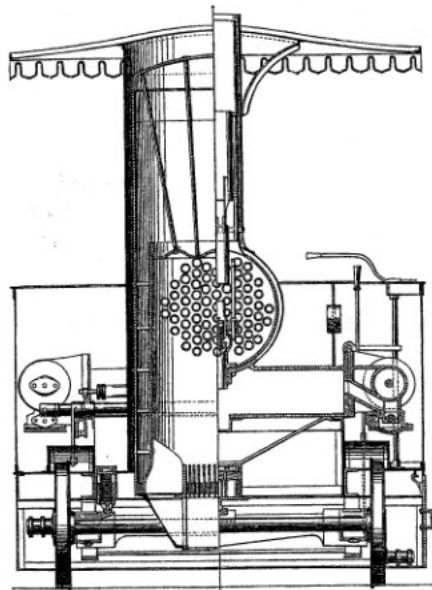




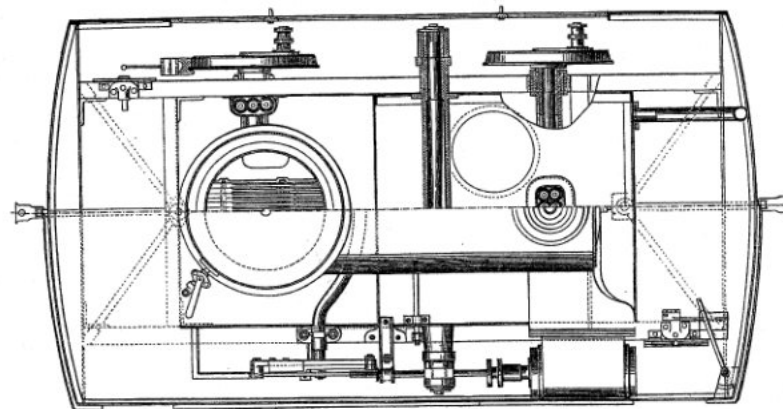
Ansiht.



Längenschnitt.



Schnitt durch die Feuerfläche. Schnitt durch das Kamin.



Grundriß.

Tafel 2.4/8: Straßenbahnlokomotive (1879)

Hersteller: Schweizerische Lokomotiv- und Maschinenfabrik (SLM),  
Winterthur



Tafel 2.4/9: Straßenbahnlokomotive als Vorbahn (um 1908)  
Hersteller: Lokomotivfabrik Krauss & Co, München

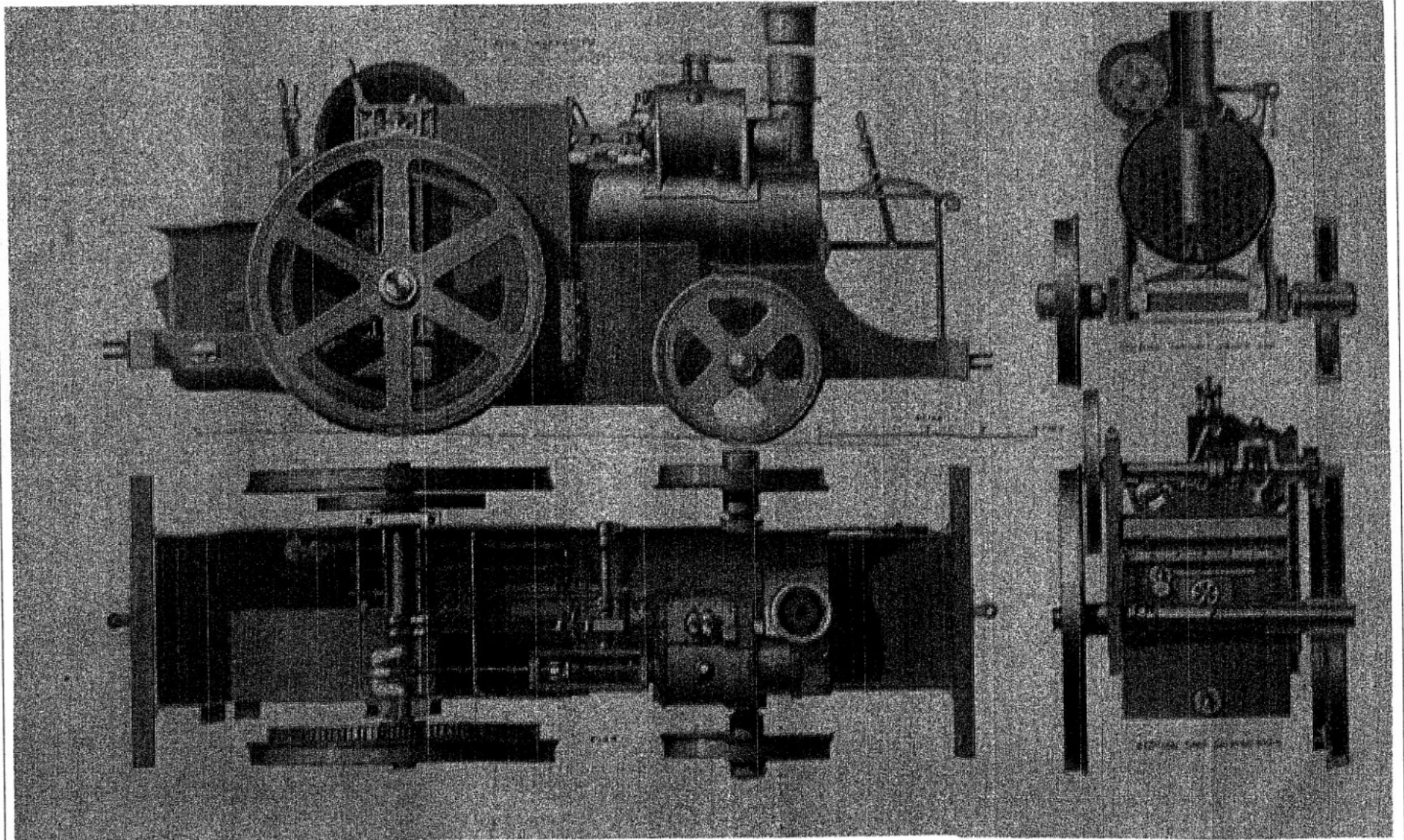
Bemerkung:

Selbständige Straßenbahnlokomotiven mit Dampftrieb wurden in Deutschland von folgenden Unternehmen hergestellt:

- Henschel & Sohn, Kassel,
- A. Borsig, Berlin,
- MGH (Maschinenbaugesellschaft Heilbronn), Heilbronn,
- Maschinenfabrik Esslingen, Esslingen,
- Stettiner Maschinenbau A.G. Vulcan, Stettin,
- Lokomotivfabrik Krauss & Co, München,
- Hannoversche Maschinenbau-A.G. (vorm. G. Egestorff), Hannover,
- Berliner Maschinenbau-A.G. (vorm. L. Schwartzkopff), Berlin,
- Maschinenbau-Anstalt Humboldt, Köln,
- Friedr. Krupp A.G., Essen,
- F. Wöhlert, Maschinenbau-Anstalt und Eisengießerei, Berlin,
- Orenstein & Koppel, Berlin,
- J. A. Maffei A.G., München,
- Linke-Hoffmann-Lauchhammer, Breslau,
- Arnold Jung, Jungenthal,
- Maschinenbau-Gesellschaft Karlsruhe, Karlsruhe,
- Christian Hagans (später R. Wolf A.G., danach Henschel & Sohn), Erfurt,
- Aktiengesellschaft für Lokomotivbau „Hohenzollern“, Düsseldorf,
- Freudenstein & Co, Berlin.

Bemerkung:

Die naheliegendste Möglichkeit zum Bau einer dampfgetriebenen Straßenbahnlokomotive war die Anpassung einer üblichen Straßenlokomotive. In der Tafel 2.4/10 ist diese aus England stammende Idee dargestellt. Eine Straßenlokomotive englischer Bauart (liegender Lokomotivkessel, aufgesattelte Maschine etc.) wurde entsprechend verkleinert. Eine lenkbare Achse war nicht erforderlich. Alle Räder waren mit Spurkränzen versehen. Ob die Maschine gebaut worden ist, ist nicht genau bekannt.



Tafel 2.4/10: Straßenbahnlokomotive auf Basis einer  
Straßenlokomotive (England, um 1880 (?))



### **Straßenbahnen mit integriertem Dampftrieb**

Man baute in den 80er Jahren des 19. Jahrhunderts auch Straßenbahnen mit im Wagen integrierten kompakten Dampftrieben. Ein Konzept, das in seiner Grundform um 1850 eine Zeit lang in England auf wenig frequentierten Strecken der Eisenbahnen probiert worden ist. Man nannte diese Fahrzeuge damals Eisenbahn-Motorwagen oder „Expressmaschinen“. Straßenbahnen mit integriertem Dampftrieb erfüllten die Anforderungen des innerstädtischen Personenverkehrs besser. Der gesamte Antrieb mit Kessel und Maschine wurde im Laufe der Entwicklung so weit verkleinert, dass von außen nur durch den kurzen Kamin erkennbar war, mit welchem Antrieb der Wagen ausgestattet war. Während bei den frühen Dampfstraßenbahnen dieser Bauart der Kabinenwagen oft noch auf ein kompaktes Antriebsgestell aufgesattelt wurde, führen die späteren Konstruktionen mit vollständig integrierten Dampftrieben. Ein Hochleistungskessel war an einem Wagenende untergebracht, die Maschine lag als Unterflur-Dampfmotor meist vor einer Achse oder im Drehgestell. Es gab in den 80er und 90er Jahren einige Dampf-Straßenbahngesellschaften, die mit diesen Fahrzeugen arbeiteten. Die Fahrzeuge wurden im Laufe der Zeit in zwei Richtungen weiterentwickelt. Die eine Entwicklungslinie führte zu den oben erwähnten Fahrzeugen mit einer speziellen Auslegung für den innerstädtischen Verkehr. Die andere Entwicklungslinie führte zu den „Motorwagen auf eisernen Bahnen“, den Schienenomnibussen und Triebwagen. Im Verlauf ihrer Entwicklung wurden die letztgenannten Fahrzeuge immer größer und leistungsfähiger (siehe Abschnitt 2.5). Aus den kleinen „Dampf-Selbstfahrern auf Schienen“ wurden Schienenfahrzeuge, die den Personenverkehr mit Lokomotiven und Personenwagen im stadtnahen Bereich auf Hauptlinien und den Ringbahnen fast vollständig ersetzten. Als Vorortbahnen leisteten sie Zubringerdienste für die direkten innerstädtischen Personenbeförderungssysteme. Auf Dauer waren die dampfbetriebenen Triebwagen nicht konkurrenzfähig. Auch bei diesen Wagen verhinderten einige grundsätzliche Nachteile des Dampftriebs einen Erfolg. Der elektrische Antrieb setzte sich durch. Die bekanntesten Hersteller von Straßenbahnen mit integriertem Dampftrieb waren in Frankreich zu Hause. Die Fahrzeuge von Rowan, Purrey und Serpollet, um nur einige der Hersteller zu nennen, führen auch in Deutschland.

Einer der ganz großen Hersteller von Dampfstraßenbahnen war Rowan in Paris. Zu Beginn der 80er Jahre hatte er mit seinen Wagen große Erfolge. Die Dampfstraßenbahnen von Rowan waren leichte Fahrzeuge, die speziell für den innerstädtischen Betrieb, den Betrieb auf wenig frequentierten Nebenbahnen und für leichten Zwischenverkehr auf Hauptbahnen ausgelegt waren. Die Wagen waren meist dreiachsig. Sie besaßen einen zweiachsigen Antriebskopf, auf dem der Stehkessel und die Maschine untergebracht waren. In der Tafel 2.4/11 ist so ein Fahrzeug in der Figur 1 dargestellt. Die im Bild 2.1/2 dargestellte Bahn des Berliner Dampfstraßenbahn-Konsortiums war auch ein Fahrzeug von Rowan. Die gesamte Antriebseinheit war schnell wechselbar. Sie konnte nach vorne herausgefahren werden. Der verwendete Kessel war eine eigene, sehr leistungsstarke Konstruktion. Ein Quadratmeter Heizfläche dieses Kessels soll ebensoviel Dampf geliefert haben wie zwei Quadratmeter eines üblichen Lokomotivkessels. Die Bauweise erinnert entfernt an die Ausführungen von Shand und Mason in London. Die Figur 2 in der Tafel 2.4/11 zeigt einen Schnitt durch diesen Kessel.

Der einachsige Kabinenwagen war aufgesattelt. Er stützte sich mittels Gleitschuhen, die an den Längsträgern befestigt waren, auf gefederten Auflagern ab. Die übliche Wagenausführung hatte Platz für 55 Passagiere. Das Eigengewicht des gesamten Wagens betrug nur 6 Tonnen. Zur Bedienung des Kessels und der Maschine reichte eine Arbeitsperson aus. Im Notfall konnte der Schaffner die Maschine stillsetzen. Die Betriebsvorschriften in den einzelnen Ländern waren aber sehr unterschiedlich. In einigen Ländern war es erforderlich, zusätzlich zum Maschinenführer noch einen Heizer einzusetzen. Rowan baute auch größere

Doppelstockwagen. Sie waren vierachsig. Die Decksitze waren meist offen. Bis zu 90 Personen konnten mit den großen Wagen befördert werden. Nachteilig bei dieser Ausführung der Rowan'schen Wagen war das Drehen des gesamten Fahrzeugs vor Antritt der Rückfahrt. Eine entsprechende Drehscheibe oder eine Dreieckschleife waren an jedem Streckenkopf erforderlich.

Die Dampfstraßenbahnen von Rowan waren sehr fortschrittliche und erfolgreiche Fahrzeuge. Im Jahr 1896, zum Höhepunkt der Entwicklung dampfgetriebener Straßenbahnen, baute Rowan Dampfstraßenbahnen in 19 Ausführungsformen. Die Maschinenleistungen lagen zwischen 50 und 100 PS. Die Beförderungskapazitäten der Fahrzeuge betragen 45 und 110 Passagiere.

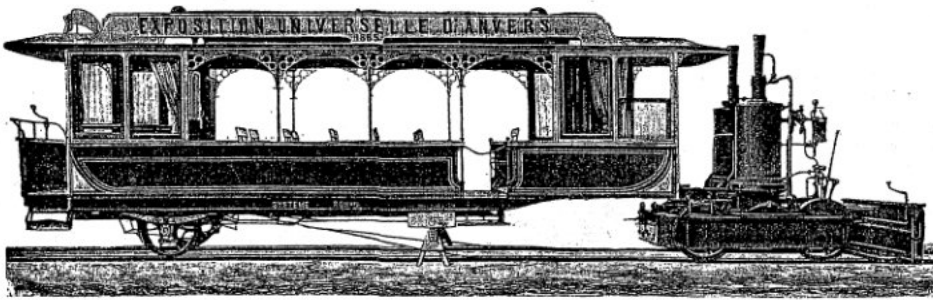
Bei den Dampfstraßenbahnen der anderen französischen Hersteller waren die Maschine und der Kessel fest im Wagen eingebaut. Eine allgemein übliche Bauweise. In den Tafeln 2.4/18 und 2.4/19 sind einige Fahrzeuge und deren Aufbau dargestellt.

Bei den Dampfstraßenbahnen mit integriertem Dampftrieb gab es auch Mischformen mit den Systemen mit selbständigen Lokomotiven. Eingesetzt wurden die Wagen meist für besondere Zwecke. In der Tafel 2.4/20 ist beispielhaft ein Wagen von Serpollet wiedergegeben. Er konnte im Kabinenteil Personen befördern, war aber auch als selbständige Lokomotive mit Anhängewagen einsetzbar.

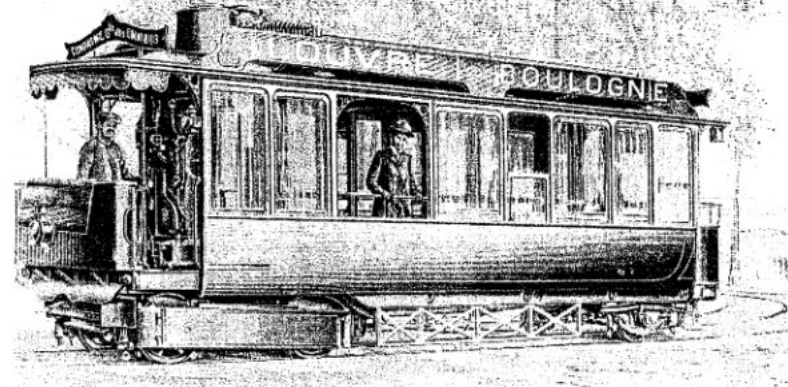
#### **Bemerkung:**

In Glasers Analen für Gewerbe und Bauwesen vom 15. Juli 1907 steht beispielsweise zum Einsatz und der Leistungsfähigkeit der kleinen Straßenbahn mit integriertem Dampftrieb der Komarek Werke (Österreich): ... „Das die Komarek-Wagen auch für die kleinsten Betriebsverhältnisse anpassungsfähig sind, zeigen die leichten Dampfswagen für die schmalspurige städtische Straßenbahn in Oderberg (österr. Schlesien). Die beiden Wagen machen täglich je 36 – 40 Fahrten in rund 17-stündigem Dienst entsprechend einer täglichen Leistung von 150 km. Dabei werden 230 kg Koks und 2 kg Öl verbraucht. Die 3,5 km lange Strecke mit 6 Haltestellen wird in 12 Minuten zurückgelegt. Die Wagen verkehren teils ohne, teils mit 1 – 2 Anhängewagen. Ein Dampfswagen mit zwei Betwagern befördert über 100 Personen mit einer Fahrgeschwindigkeit von 30 km/h. Die Wagen werden von je einem Maschinisten und einem Schaffner bedient, welcher letzterer auch für die Betwagere ausreicht. ...“

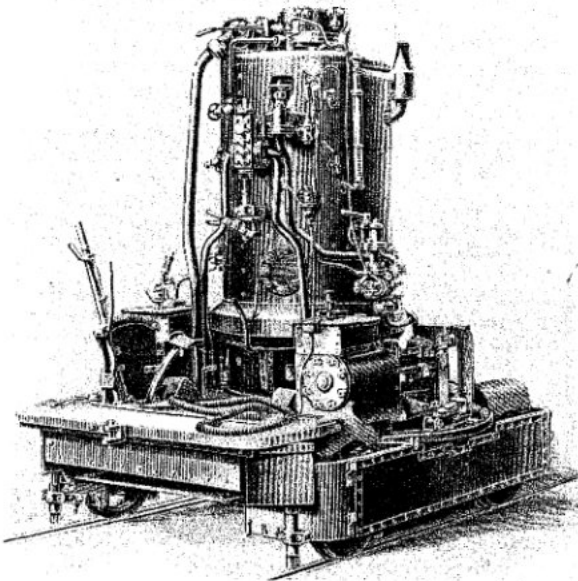




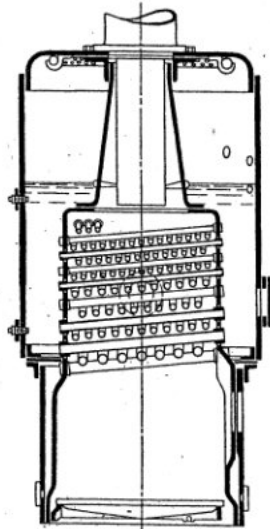
Figur 1: Dampfstraßenbahn mit ausgefahrener Antriebseinheit



Figur 2: Dampfstraßenbahn im Betrieb

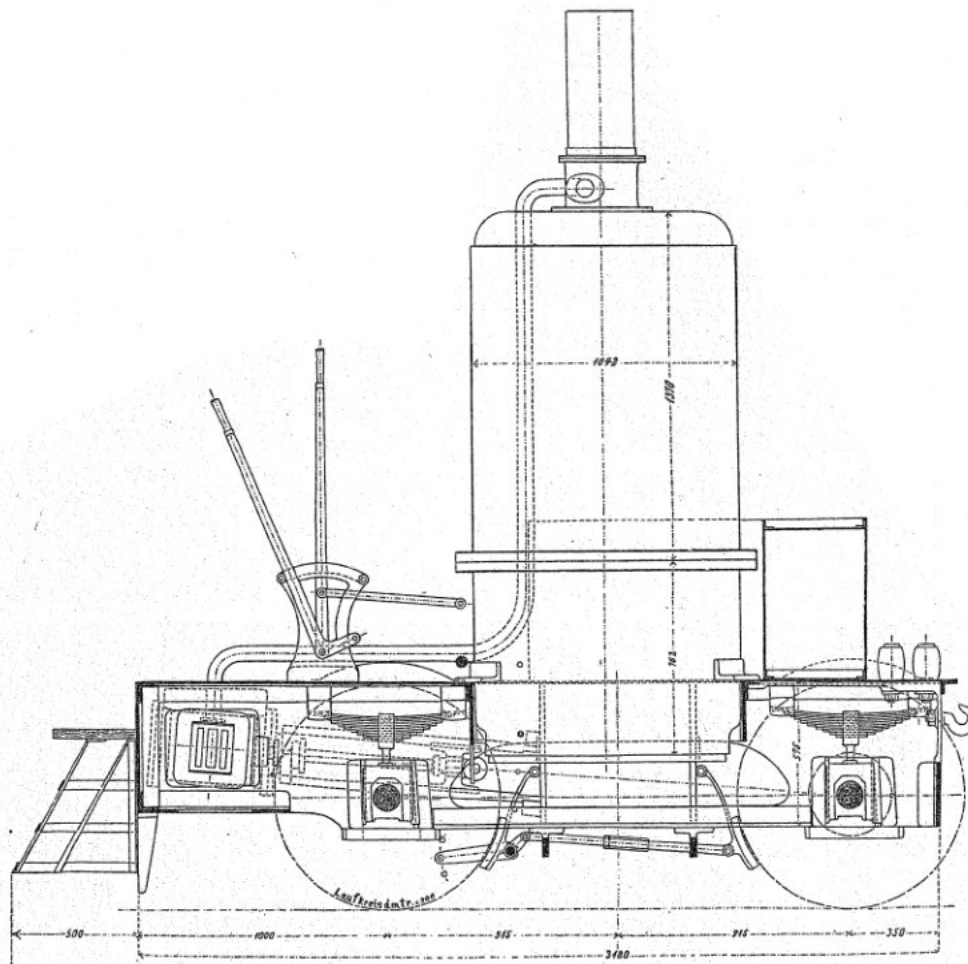


Figur 3: Antriebseinheit der Dampfstraßenbahn

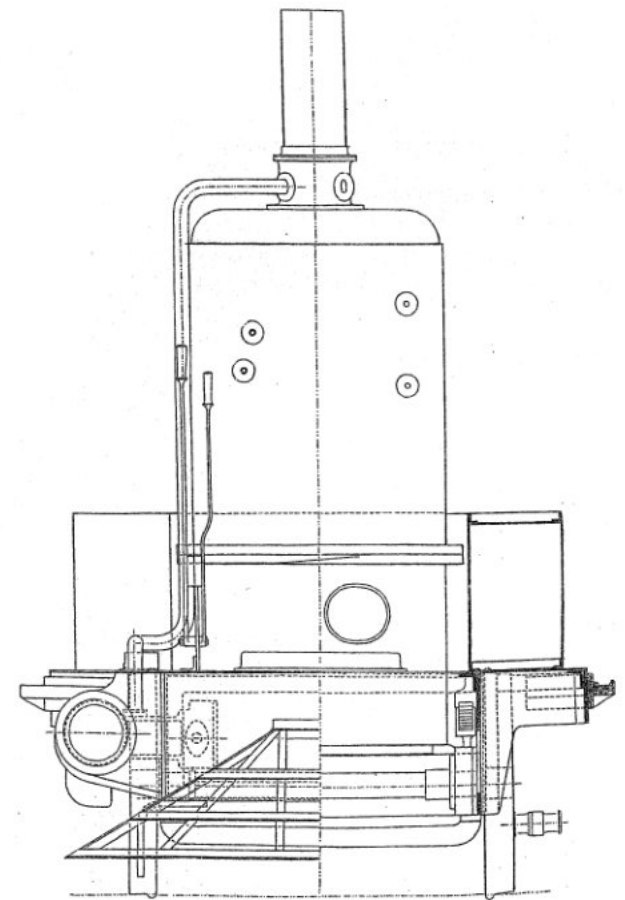


Figur 4: Dampfkessel der Straßenbahn

Tafel 2.4/11: Dampfstraßenbahn von Rowan, Paris (um 1882)

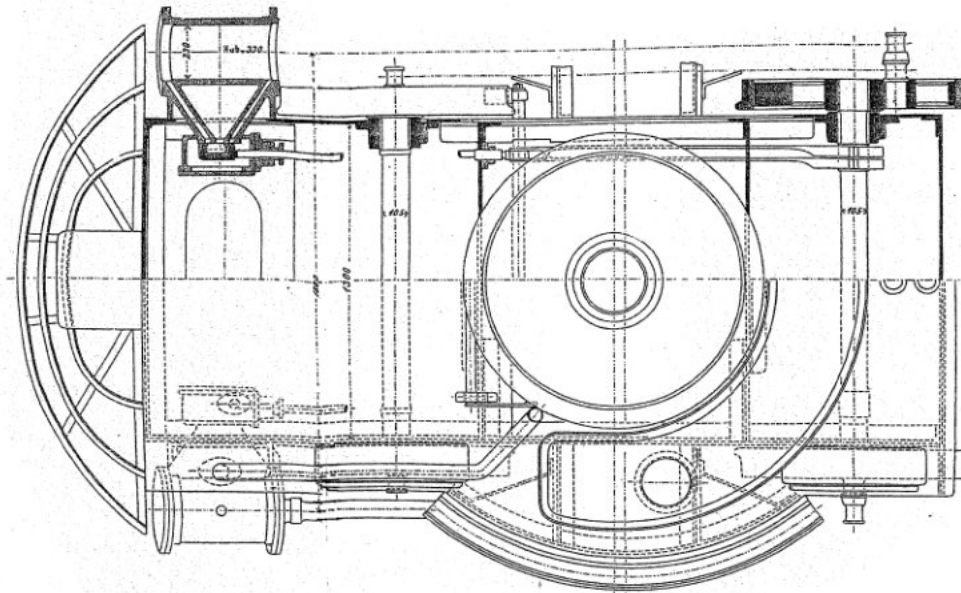


Seitenansicht (Schnittdarstellung) mit Hauptmaßen



Vorderansicht Rückansicht

Tafel 2.4/12: Antriebseinheit (Dampfboogie) einer  
Dampfstraßenbahn von Rowan (um1910)

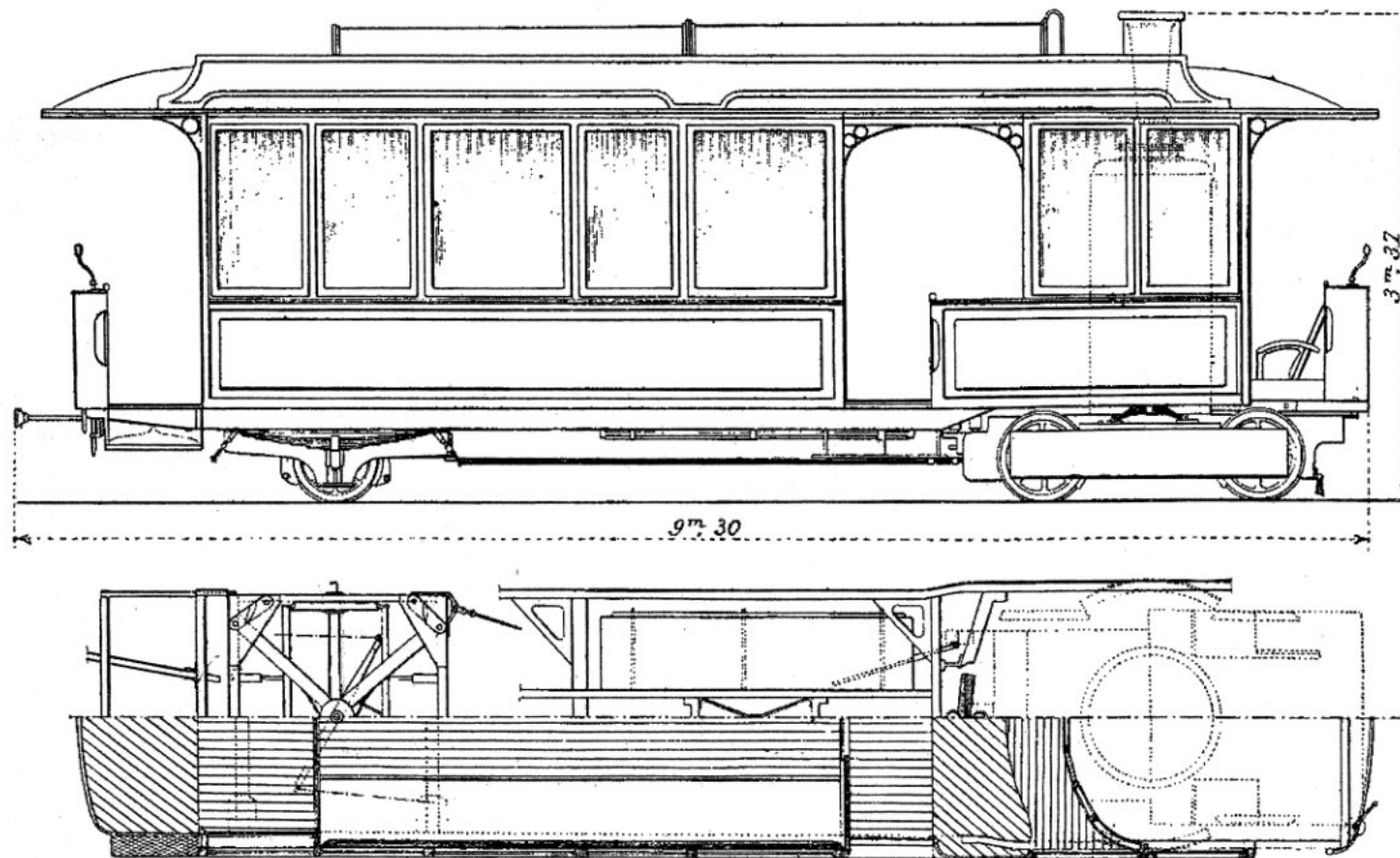


Draufsicht (mit Hauptmaßen  
und Schnitt durch den Zylinder  
sowie den unteren Teil der Maschine)

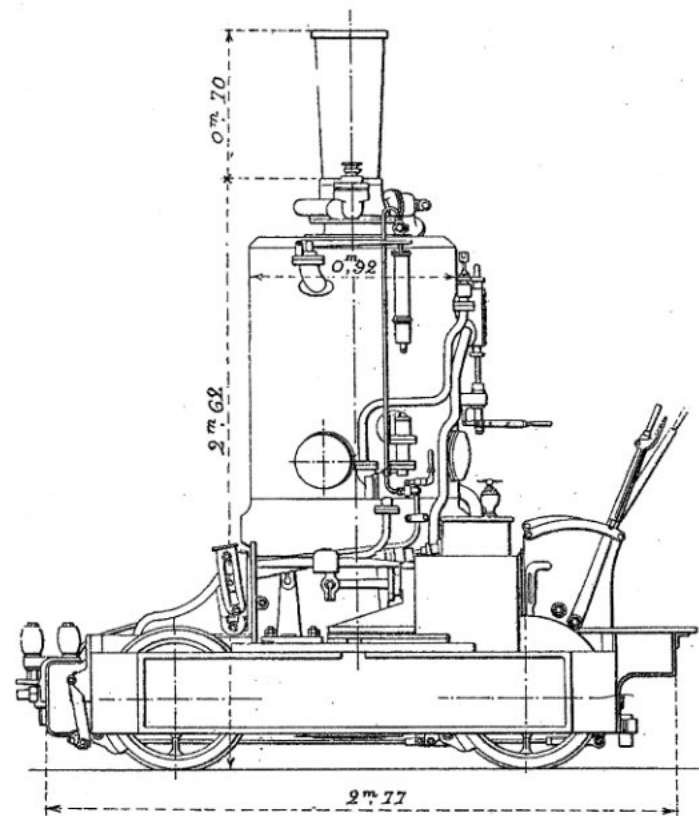
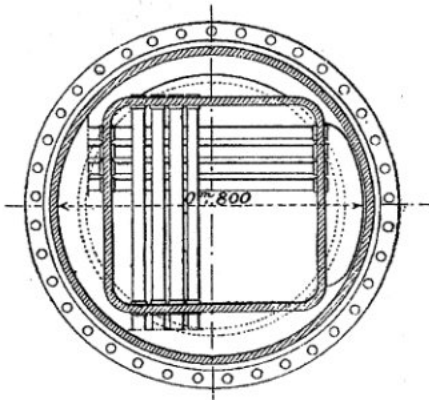
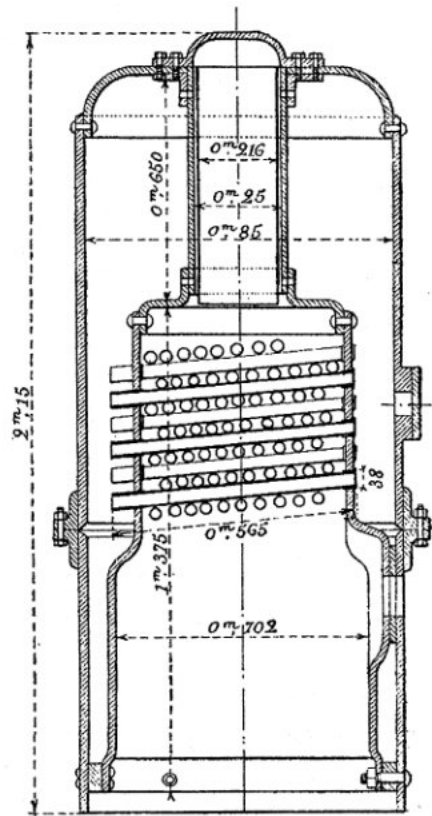
#### Hauptdaten der Maschine

Durchmesser des Zylinders . . . . .	230 mm
Kolbenhub . . . . .	330 »
Durchmesser des Kessels . . . . .	1042 »
Höhe . . . . .	2132 »
Dampfüberdruck . . . . .	13 Atmosph.
Kondensationsfläche . . . . .	80 qm
Spurweite . . . . .	1435 mm
Radstand . . . . .	1830 »
Länge der Maschine zwischen den Kopfen . . . . .	3180 »
Maximalraddruck auf die Schiene bei voller Belastung . . . . .	1460 kg
Anzahl der Achsen . . . . .	2
» » Treibachsen . . . . .	1
» » Kuppelachsen . . . . .	1
Triebradurchmesser . . . . .	900 mm

Tafel 2.4/13: Antriebseinheit (Dampfbogie) einer  
Dampfstraßenbahn von Rowan (um1910)

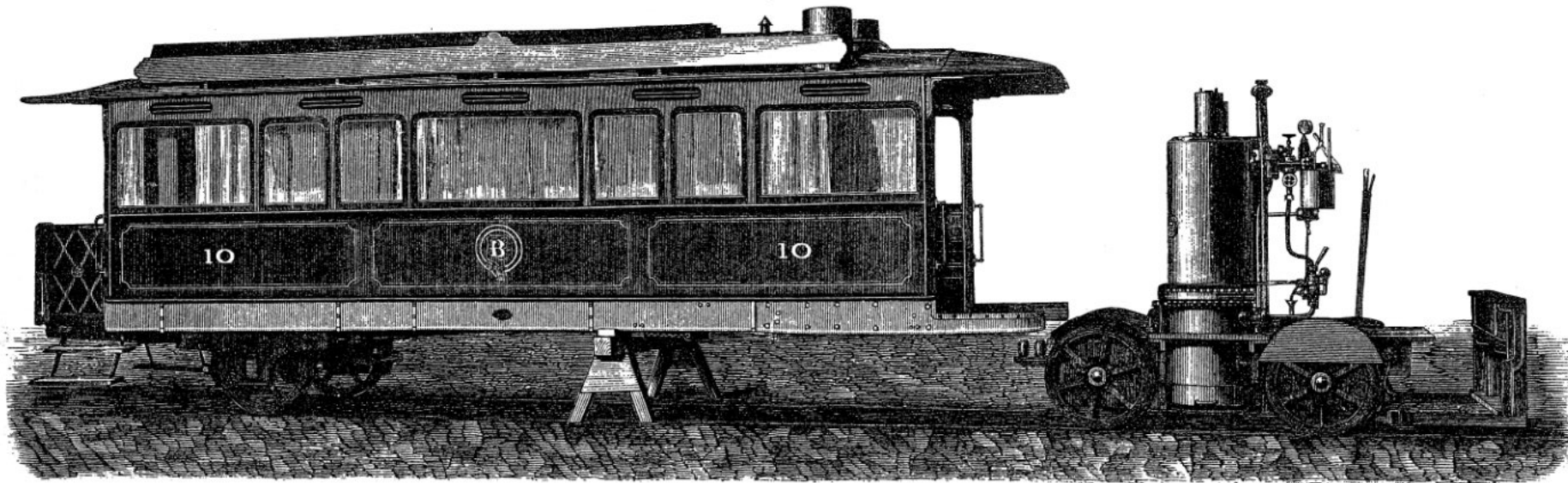


Tafel 2.4/14: Kleine Dampfstraßenbahn von Rowan (um 1898)

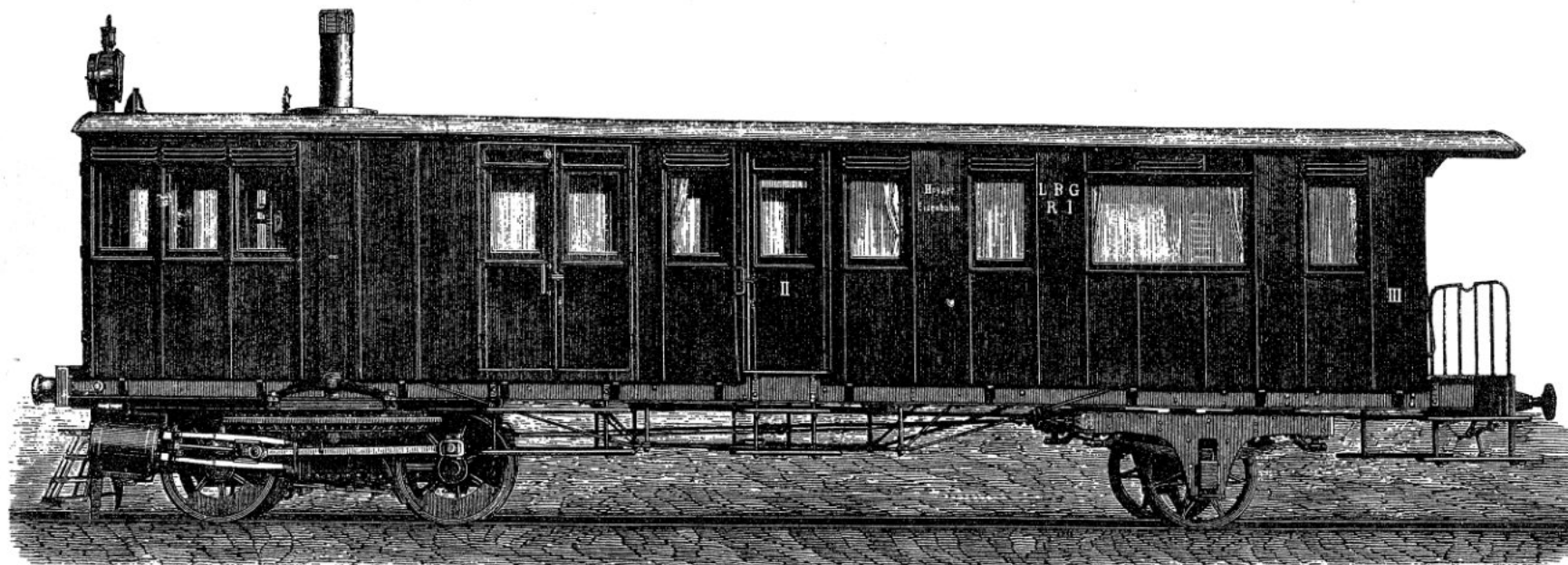


Tafel 2.4/15: Kessel und Antriebseinheit der kleinen  
Dampfstraßenbahn von Rowan





Doppelbogig-Dampfwagen für Straßenbahnen (System Rowan), Type R. 10, mit herausgeschobener Maschine.

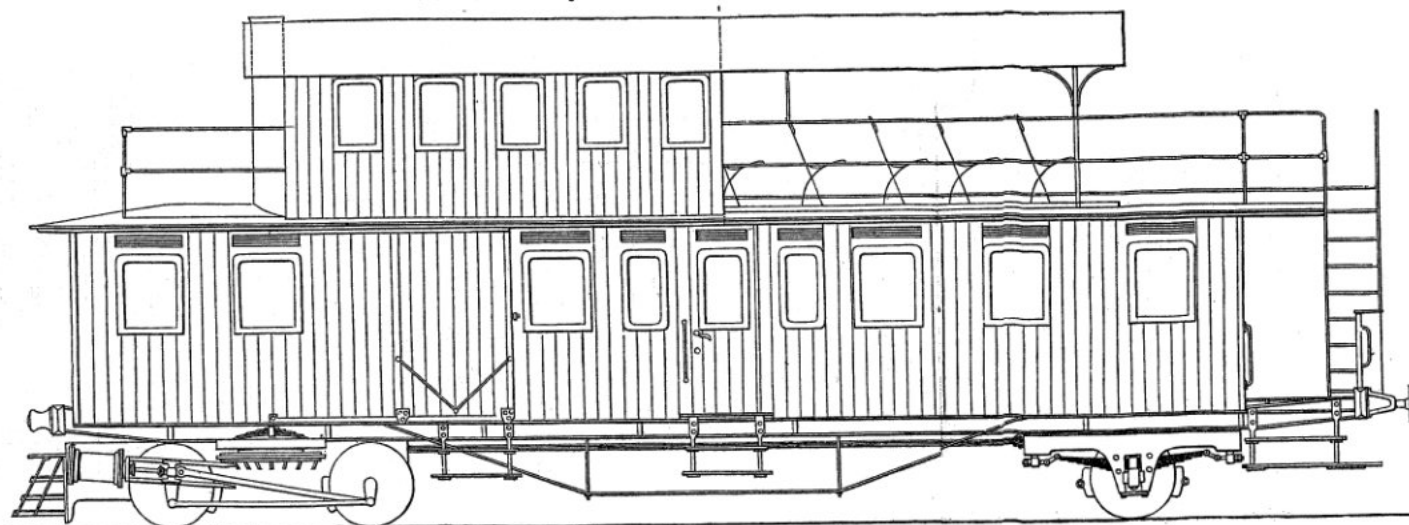


Doppelbogig-Dampfwagen für die Hoyaer Eisenbahn (Provinz Hannover).

Tafel 2.4/16: Dampfstraßenbahnen aus dem Jahr 1882  
 Oben: mit trennbarer Antriebseinheit (Dampfbogie)  
 Unten: mit fest eingebautem Kessel und Antrieb

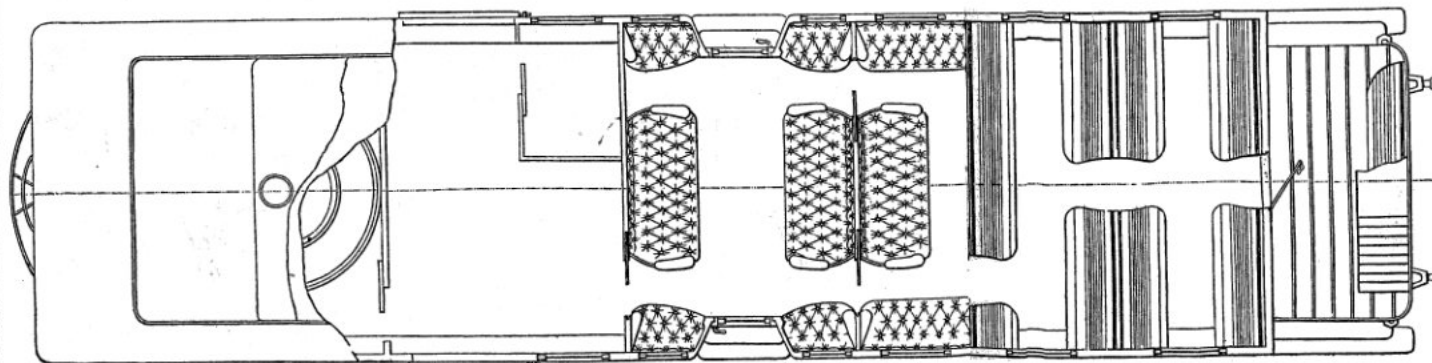
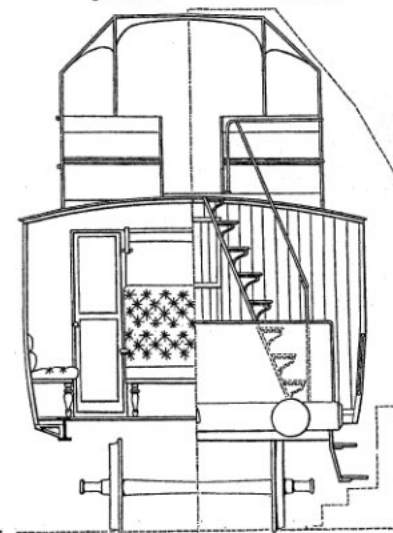
Anzicht als Winterwagen.

Anzicht als Sommerwagen.



Querschnitt.

Endansicht.



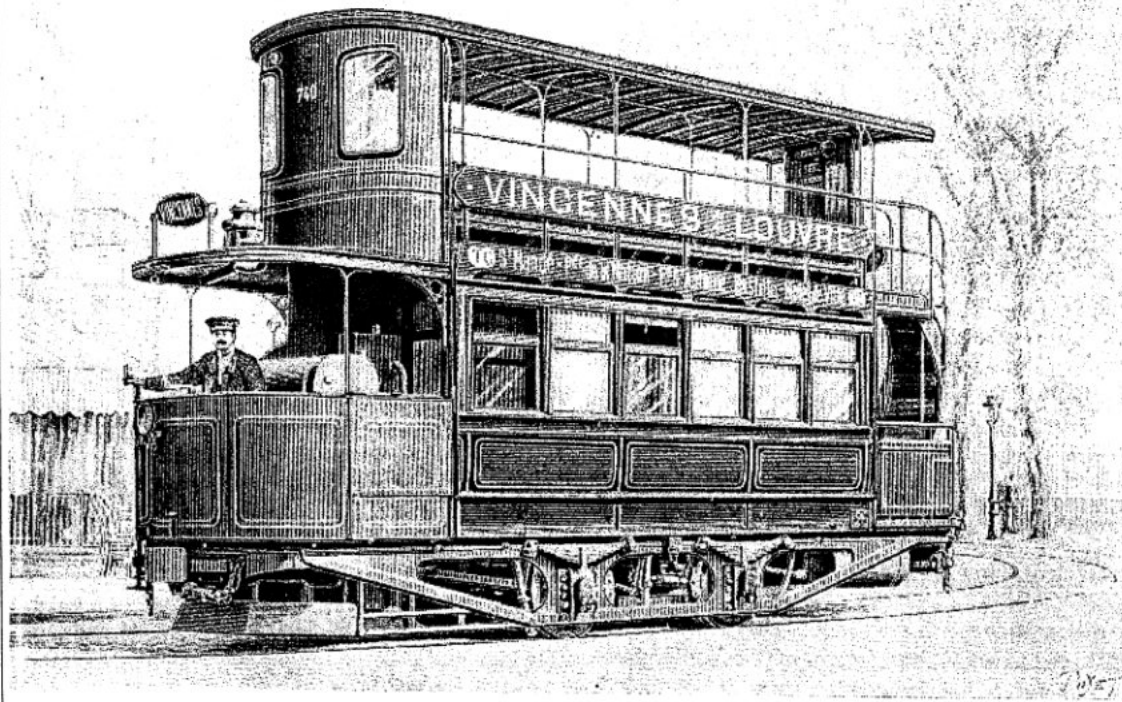
Grundriss.

Tafel 2.4/17: Dampfstraßenbahn (1880)

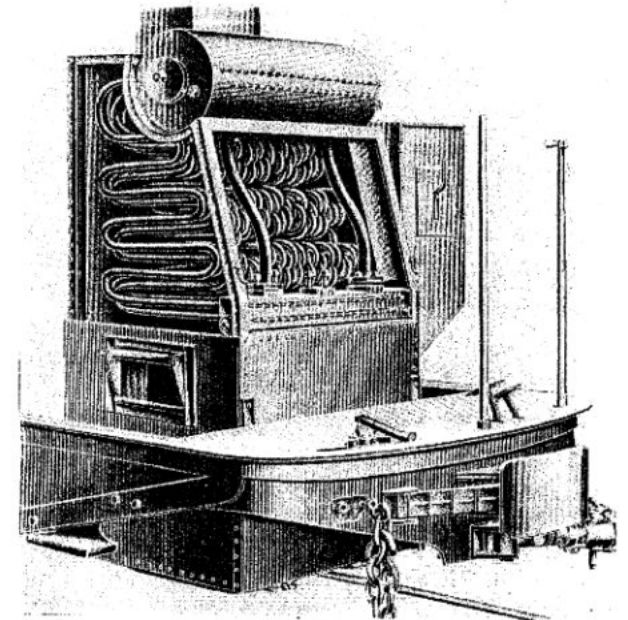
Hersteller: Rowan, Paris

Typ: R13 (Doppelstockwagen für 85 Passagiere)

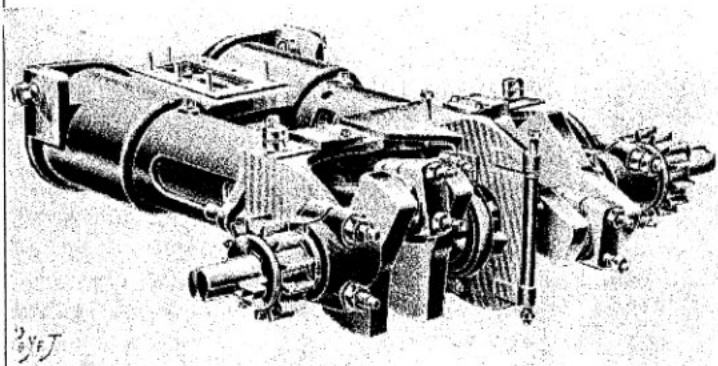
Besonderheit: obere Etage umbaubar von Winter- auf Sommerbetrieb und umgekehrt



Figur 1: Doppelstock-Dampfstraßenbahn im Betrieb



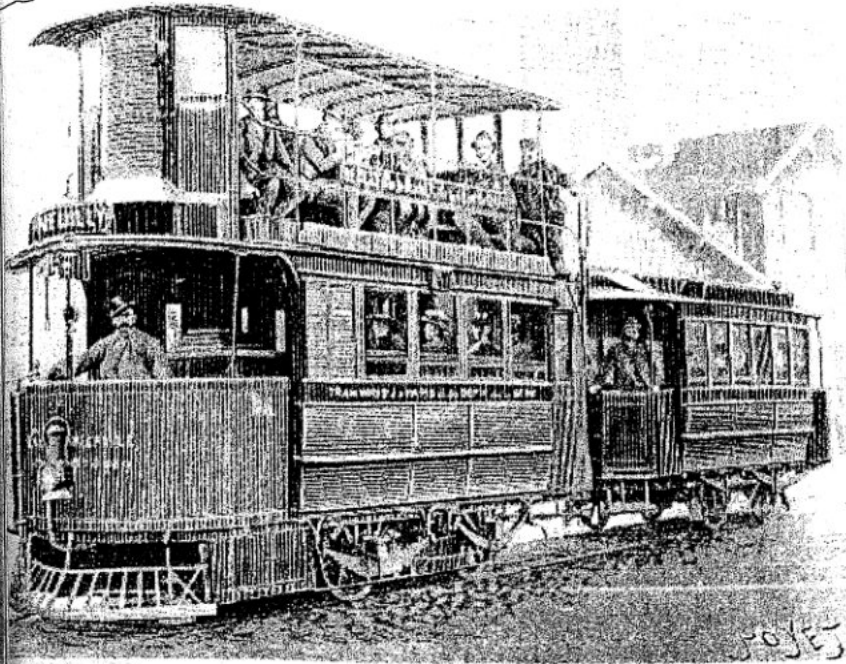
Figur 3: Dampfkessel von Purrey



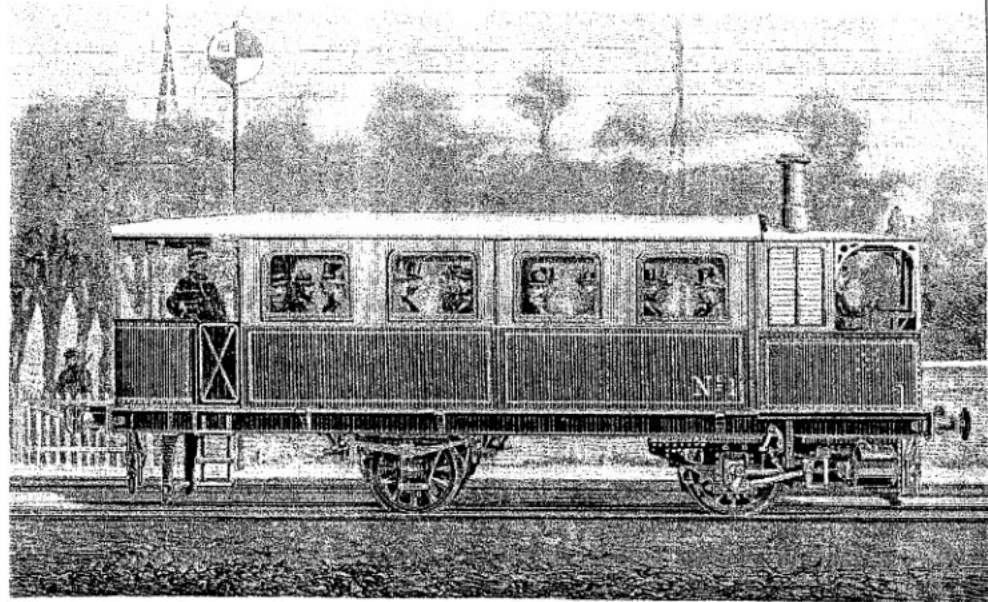
Figur 2: Liegender Zweizylinder-Dampfmotor von Purrey

Tafel 2.4/18: Dampfstraßenbahn von Purrey (um 1896)

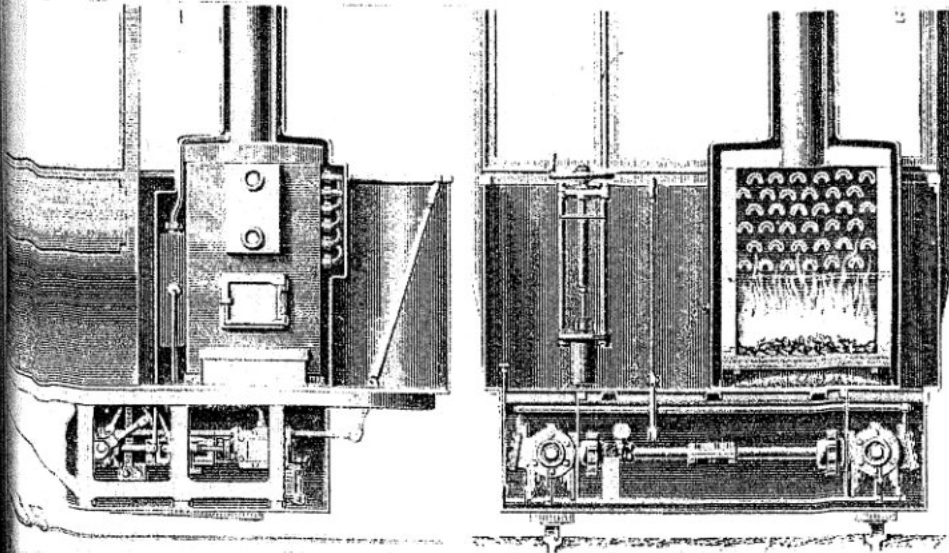




Figur 1: Doppelstock-Dampfstraßenbahn (für 40 Personen) mit Anhängewagen (für 32 Personen) im Betrieb

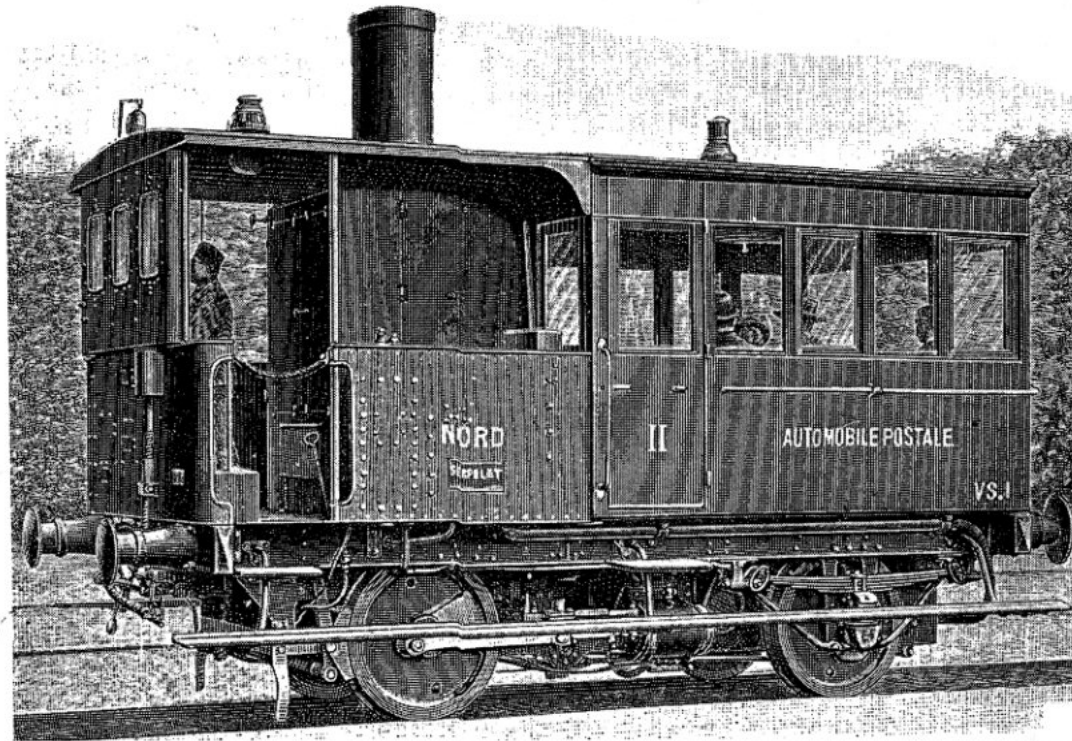


Figur 2: Einfache Dampfstraßenbahn



Figur 3 und 4: Antrieb und Kessel der Dampfstraßenbahn von Serpollet

Tafel 2.4/19: Dampfstraßenbahn von Serpollet (um 1892)



Tafel 2.4/20: Dampfstraßenbahn mit integriertem Antrieb (1897)  
Auch als selbständige Trambahn-Lokomotive einsetzbar.  
Hersteller: Serpollet



Das Bild 2.4.2/4 zeigt einen großen Dampf-Wagen mit 49 Sitzplätzen aus dem Jahr 1887. Der Wagen wurde von der Fa. Gebr. Hoffmann, Breslau gebaut. Der vollständig integrierte Dampftrieb stammte von der Fa. Borsig, Berlin. Eine genaue Abgrenzung zwischen Straßenbahnen mit integriertem Dampftrieb, den Dampf-Schienenomnibussen und Dampf-Triebwagen lässt sich nicht immer eindeutig angeben. Die Unterschiede bei den Fahrzeugkonzepten waren fließend. Das dargestellte Fahrzeug war für den Betrieb im direkten innerstädtischen Verkehr natürlich viel zu groß. Diese und ähnliche Wagen wurden auf stark frequentierten Linien im Zubringerdienst und Verkehr zwischen einzelnen Stadtbahnhöfen eingesetzt. Zum Teil auf Trassen neben oder, bei mehrspurigen Straßen, zwischen den Fahrbahnen.

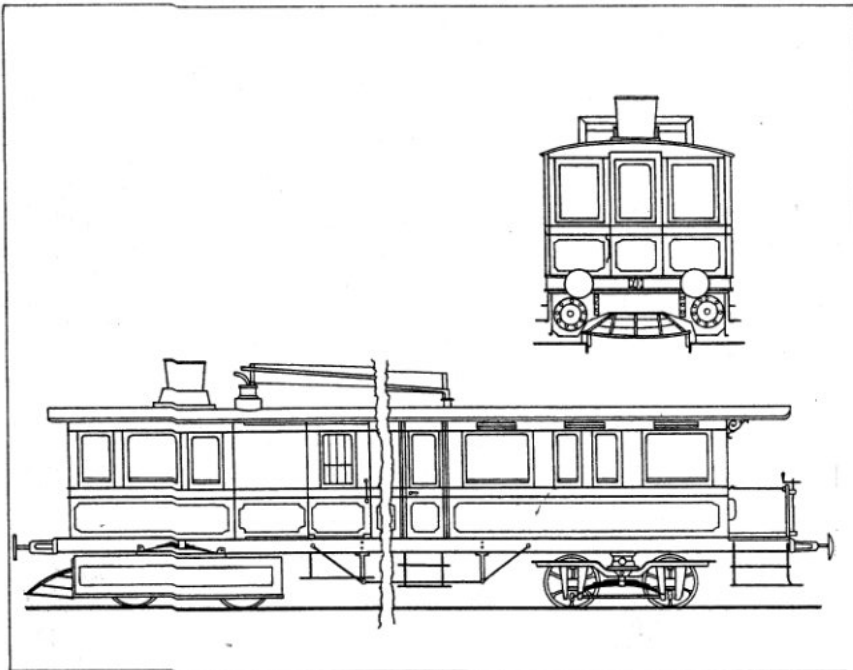


Bild 2.4.2/4: Dampf-Triebwagen mit 49 Sitzplätzen (1887)  
Hersteller Fa. Gebr. Hoffmann, Breslau

Die Dampfwagen mit integriertem Antrieb wurden von einigen Herstellern auch noch nach der Jahrhundertwende als kleine Straßenbahnen für den innerstädtischen Verkehr gebaut. In einer Zeit also, als die elektrische Straßenbahn ihre überzeugenden Vorteile schon einige Zeit unter Beweis gestellt hatte. Die äußere Form der kleinen Dampf-Straßenbahnen unterschied sich nicht von denen mit elektrischem Antrieb. Es ist typisch für viele technische Entwicklungslinien, dass parallele Entwicklungen, die die gleiche Funktion erfüllten, längere Zeit nebeneinander existierten, bis sich die erfolgreichere letztendlich in der Praxis durchsetzte. Der Dampftrieb besaß auch bei Straßenbahnen ein zähes Leben.

### Straßenbahnen mit besonderen Schienensystemen

Dampfstraßenbahnen wurden aber nicht nur bei normalen Schienensystemen eingesetzt. Es gab sie auch bei den verschiedenen Arten von Einschienenbahnen. Bei den Einschienenbahnen zur Personenbeförderung wurden zwei Systeme unterschieden. Zum einen Systeme mit aufgesattelten Maschinen und Transportwagen und zum anderen Konstruktionen, bei denen die Maschinen und Wagen an Tragschienen hingen. Die meisten Konstruktionen sind über das Versuchsstadium nicht hinaus gekommen. Reine Einschienenbahnen, beispielsweise die von *Robinson Palmer* 1820 für den Lastentransport erbaute einfache Bahn mit einer Flachschiene auf hochgesetzten Ständern, haben sich nicht bewährt. Das Gleichgewichtsproblem war nicht zu lösen. Die Einführung von Stützrollen um ein Kippen zu verhindern machte die Systeme wieder aufwendiger.

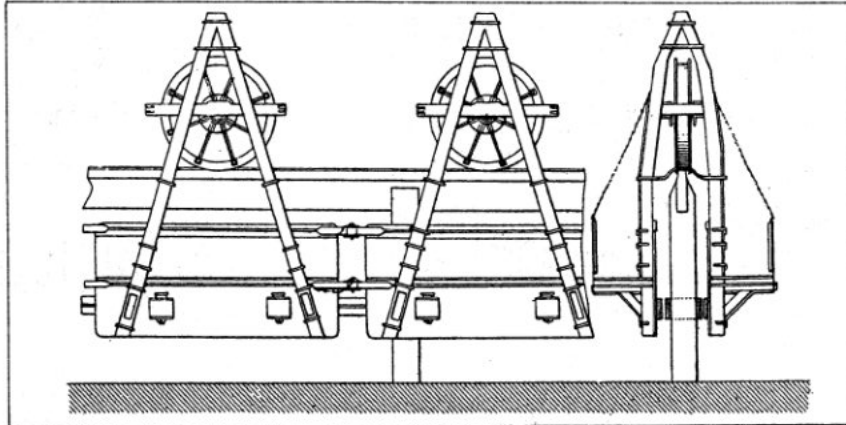


Bild 2.4.2/5: Einschienenbahn von Palmer (1820)

Spätere Einschienenbahnen mit aufgesattelten Wagen gab es in zwei Ausführungen: bei der einen Variante war die Schiene oberhalb der Straße oder des Geländes verlegt, bei der anderen verdeckt unterhalb der Straßendecke, meist in einem gemauerten Kanal. Man hat bei diesen Ausführungen zwar eine einzige stabile Tragschiene verwendet, das Gleichgewichtsproblem aber durch unterschiedliche Anordnung von leichten Stützschiene gelöst. Technisch exakt formuliert waren es also Mehrschienensysteme.

Einige Zeit im Einsatz waren die Systeme der Amerikaner Stone und Boynton sowie die Einschienenbahn des französischen Erfinders Lartigue. Stone hatte 1876 auf der Weltausstellung in Philadelphia eine Probestrecke mit seiner Einschienenbahn betrieben. Nach dem System Lartigue wurden zwei kurze Linien, eine in England und eine zwischen Foures und Caniffières in Frankreich betrieben. Auch für den Personenverkehr. Lartigue verwendete eine über dem Gelände verlegte Tragschiene mit zwei Stützschiene. Die Lokomotive und die Wagen „reiten“ gleichsam auf der Tragschiene. Die Führung der Räder auf der Tragschiene übernehmen zwei Spurkränze je Rad. Die seitlichen Stützschiene sind Flachprofile. Kleine Laufräder verhindern das Kippen. Im Bild 2.4.2/6 ist die Skizze einer Lartigue'schen Lokomotive wiedergegeben. Das ganze System war technisch sehr aufwendig, teuer und hatte offensichtlich viele Nachteile. Als besondere Vorteile galten: der geringe Flächenbedarf, die leichte Überbrückbarkeit von Hindernissen, Unebenheiten und Stufen auf dem Boden und die Unmöglichkeit eines Entgleisens.

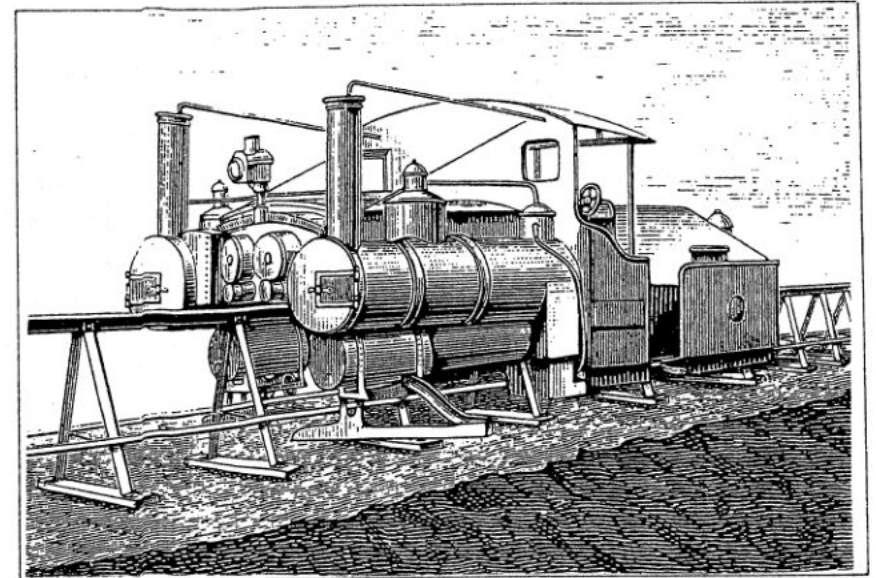


Bild 2.4.2/6: Lokomotive der Lartigue'schen Einschienenbahn (1886)

Die in England kurzzeitig in Betrieb gewesene Einschienenbahn nach dem Lartigue'schen System mit selbständiger Dampflokomotive zeigt das Bild 2.4.2/7. Die Bahn war allerdings nicht für den direkten innerstädtischen Personenverkehr gedacht, sondern als Zubringerbahn aus dem Umland in die Zentren von Liverpool und Manchester. Dargestellt ist die Situation um 1887 beim Rangieren der Lokomotive. Die Personenwagen sind abgehängt und befinden sich im Bereich des Bahnhofs. Nicht genau zu erkennen ist die Konstruktion der im Vordergrund des Bildes zu sehende Weiche. Das kurze Stück der Einschienenbahn vor der Lokomotive ist insgesamt drehbar. Die Enden konnten mit den Anschlüssen des jeweiligen Schienenstranges verriegelt werden. Damit war ein Wechseln der „Gleise“ möglich.

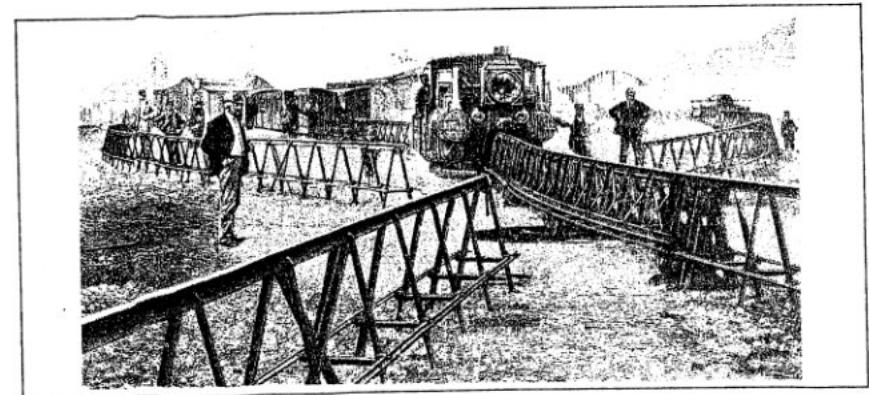


Bild 2.4.2/7: Einschienenbahn „System Lartigue“ in England (1887)

Das Beispiel einer echten Einschienenbahn sei noch nachgetragen. Es wurde ebenfalls von dem französischen Ingenieur M. Lartigue entwickelt. Es gab bei diesem sehr einfachen System keine mit Einzelantrieben versehene oder von selbständigen Lokomotiven gezogene Wagen. Mit Hilfe eines Zugmittels (Seil oder Kette) wurden die miteinander verbundenen „Wagen“ über eine Tragschiene gezogen. Die einzelnen „Wagen“ waren symmetrisch gebaut. Bei in etwa links und rechts ausgeglichener Beladung funktionierte das System gut. Für den zentralen Antrieb waren alle bekannten Arten von Kraftmaschinen geeignet: Dampfmaschinen, Elektromotoren und Explosionsmotoren. Das System war sowohl für den Lastentransport als auch zur Personenbeförderung geeignet.

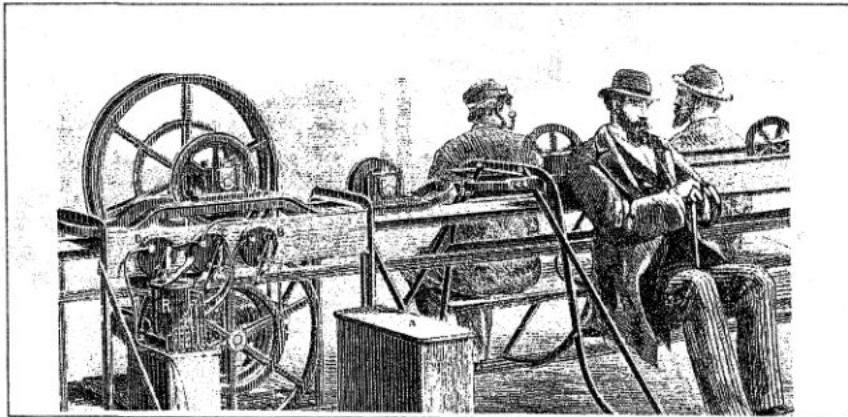


Bild 2.4.2/8: Einfache Einschienenbahn zur Beförderung von Personen (1883)  
Links ist die elektrische Antriebsstation dargestellt.

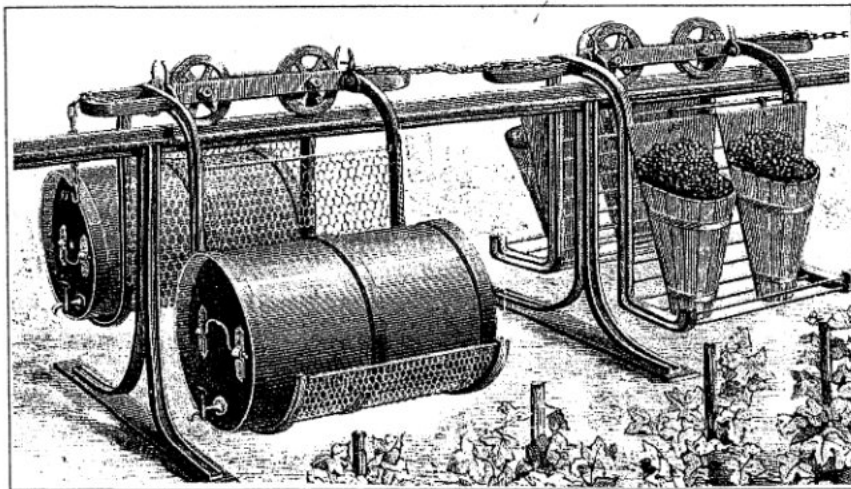


Bild 2.4.2/9: Einfache Einschienenbahn zum Transport von Gütern (1883)

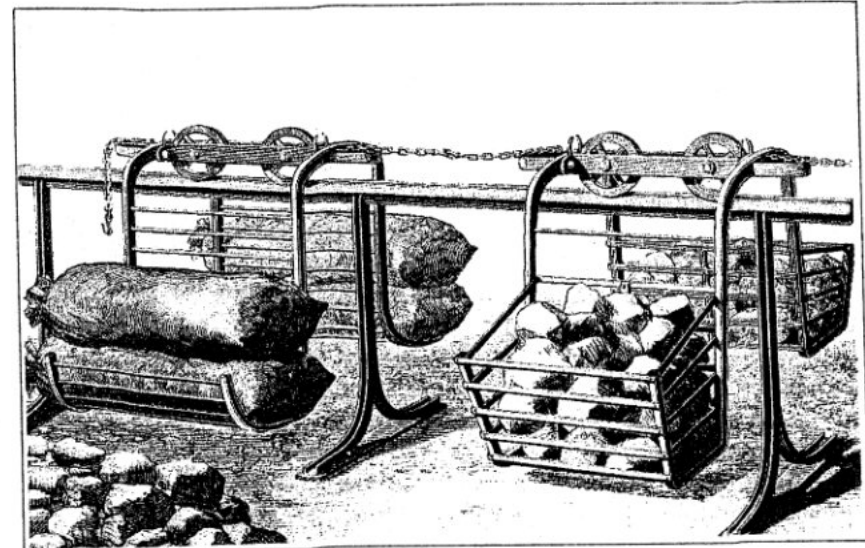


Bild 2.4.2/10: Einfache Einschienenbahn zum Transport von Gütern (1883)

Ein anderes System einer „Einschienebahn“ mit Dampftrieb hat um 1880 der amerikanische Ingenieur Boynton entwickelt. Bei seinem System lag die Tragschiene auf dem Boden, die leichte Stützschiene war in entsprechendem Abstand senkrecht darüber angebracht. Sie wurde von bogenförmigen oder galgenartigen Trägern gehalten. Wo eine Strecke mit Dampflokomotiven in Betrieb gewesen ist, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden. Die Lokomotive hatte nur ein großes Treibrad und zwei kleine Laufräder unter dem Tender. Die Führung der Räder auf der Tragschiene wurde durch zwei Spurkränze je Rad erreicht. Zur Vermeidung des Kippens dienten zwei Paar kleiner Laufräder, die sich an der oberen Schiene abstützten. Wie die Lokomotive, so besaßen auch die Personenwagen zwei Etagen mit Platz für insgesamt 108 Passagiere. Auf Strecken außerhalb von Ortschaften sollte mit hohen Geschwindigkeiten gefahren werden. Geplant waren über 100 km/h.

Die technischen Daten der Lokomotive (Bild 2.4.2/11) waren beeindruckend. Gewicht: 22 Tonnen,

Treibraddurchmesser: 2,35 Meter,

Höhe: 4,7 Meter.

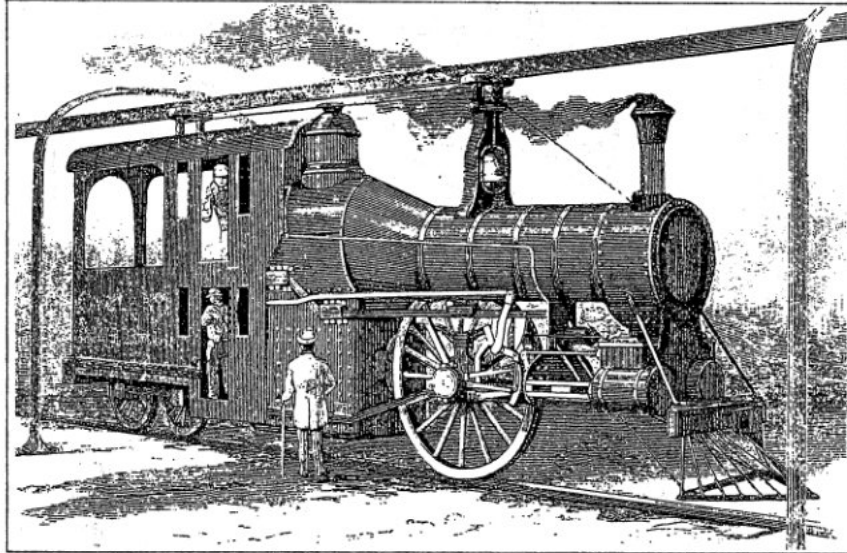


Bild 2.4.2/11: Lokomotive der Boynton'schen Einschienebahn

Das System von Boynton eignete sich nicht nur für den ebenerdigen Betrieb. Auf Stützen gesetzt, hatte man eine Hochbahn. Eine derartige Strecke, allerdings mit elektrischem Antrieb des Wagens, wurde nachgewiesener Maßen zur Personenbeförderung auf Long Island bei New York in Betrieb genommen. Im Bild 2.4.2/12 ist die Bahn dargestellt. Die einzelnen Wagen hatten nur zwei Räder mit doppelten Spurkränzen, eines vorne und eines hinten. Die Radgröße war im Vergleich zum Dampftrieb wesentlich kleiner, nahm aber immer noch die halbe Höhe der Kabine ein. Die Kabine war auch nicht doppelstöckig, sondern einfach. Das Fahrzeug soll auf freier Strecke sehr schnell gefahren sein. Die Bahn wird wohl weltweit die einzige Einschiene-Hochbahn für den stadtnahen Personenverkehr gewesen sein, die einige Zeit in Betrieb gewesen ist.

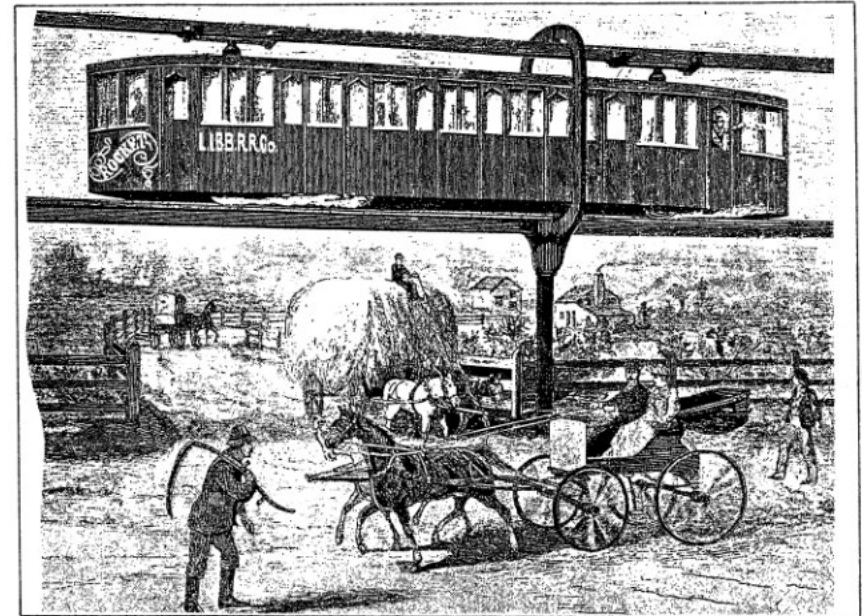


Bild 2.4.2/12: Boyntons elektrische Einschienebahn

Eine Variante bei den Straßenbahnen mit Dampftrieb muss noch erwähnt werden, und zwar Bahnen die mit der Übertragung der Zugkraft durch formschlüssige Elemente arbeiteten. Meistens wurden Zahnräder verwendet, die in zwischen den Gleisen oder an einem Gleis verlegten Zahnstangen eingriffen. Eingesetzt wurden diese Dampf-Straßenbahnen bei Linien mit sehr steilen Passagen. Es gab sie in unzähligen Ausführungen. In der Überzahl mit selbständigen Lokomotiven.



Die in Deutschland sehr bekannte Einschienen-Hängebahn über der Wupper in Elberfeld wurde von Anfang an mit elektrischem Antrieb geplant. Andere Antriebe wären zu schwer geworden. Eine sinnvolle Bedienung und Wartung beispielsweise eines Dampfantriebes sind bei der Konstruktion kaum durchführbar. Die folgenden Bilder zeigen den Aufbau des Systems etwa um 1910.

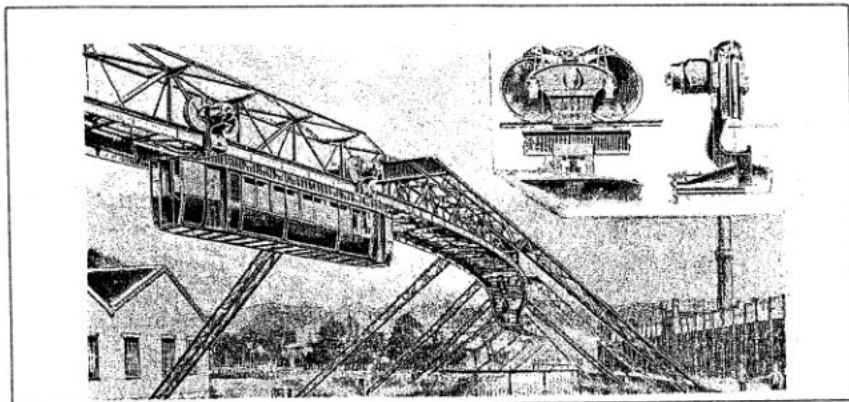


Bild 2.4.2/13: Elektrische Einschienen-Hängebahn über der Wupper bei Elberfeld (um 1910)

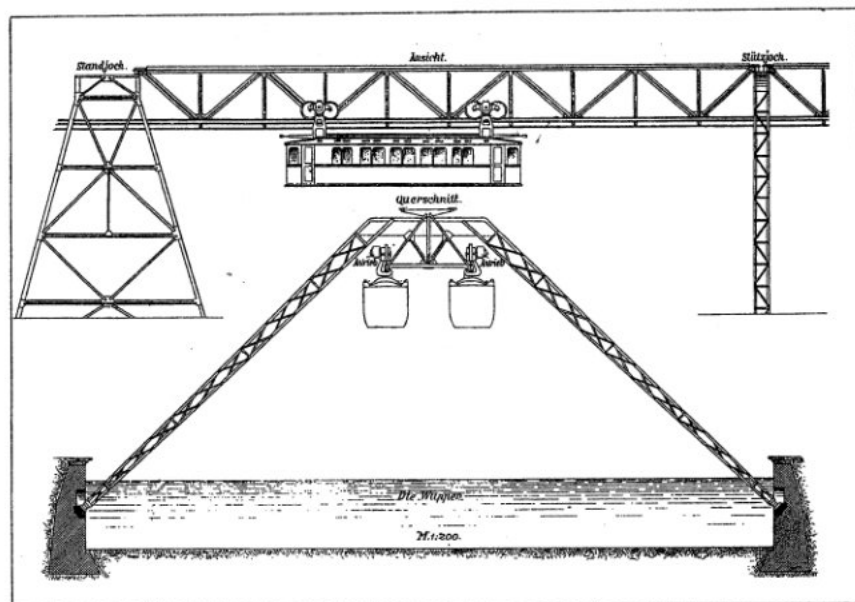


Bild 2.4.2/14: Prinzipielle Konstruktion der Einschienen-Hängebahn (um 1910)



**Straßenbahnen mit „teilselbstständigen“ oder „unselbstständigen“ Speicherlokomotiven**  
 Gemeint waren damit Konstruktionen, die den größten Nachteil des Dampfantriebes, die offene Rostfeuerung, ganz oder teilweise vermieden. Im innerstädtischen Verkehr waren der Aschefall und das Mitreißen von glühenden Partikeln im Rauch eine ständige Gefahr. In den engen Straßen war die Brandgefahr hoch. Auch die Rauchentwicklung war für die Verkehrsteilnehmer und Anwohner ein Ärgernis. Die benötigte Antriebsenergie wurde bei den „feuerlosen Lokomotiven“ vollständig (oder zu einem erheblichen Teil) in entsprechenden Speichern mitgeführt. „Teilselbständige“ Lokomotiven waren beispielsweise solche, die mit Hilfe einer kleinen „Restfeuerung“ in der Lage waren, bei leerem Speicher kurze Strecken mit verminderter Leistung selbständig zurückzulegen. Um die gesamte Breite der technischen Entwicklung darzustellen, soll etwas genauer auf diese Konstruktionen eingegangen werden, obwohl sie keinen dauerhaften Erfolg hatten. Die erforderlichen Füllkesselanlagen, die Betriebsunterbrechungen durch das Nachfüllen und der begrenzte Einsatzbereich machten letztendlich den praktischen Betrieb zu umständlich. Die aufkommenden Straßenbahnen mit elektrischem Antrieb und Energiezufuhr von außen lösten diese Technik vollständig ab.

Als Beispiel für eine derartige Maschine wird die feuerlose Dampf-Speicherlokomotive nach dem System von E. Lamm und L. Francq gewählt. Sie ist in im Bild 2.4.2/15 und in der Tafel 2.4/23 mit einigen Hauptmaßen wiedergegeben. Die Energie für den Antrieb wird in einem Speicherkessel mitgeführt. Gefüllt wird er mit stark erhitztem Wasser und überhitztem Dampf unter hohem Druck. Beim Entspannen in den Antriebszylindern wird ein Teil der gespeicherten Energie als mechanische Arbeit genutzt. Die mechanische Seite der Lokomotive entspricht weitgehend der Ausführung einfacher Lokomotiven. Zum Auffüllen des Speichers dienten normale stationäre Kessel, die natürlich in entsprechenden Abständen an der Strecke als Füllstationen vorhanden bzw. innerhalb eines Arbeitszyklus erreichbar sein mussten. Das System wurde ursprünglich in den USA von Emil Lamm entwickelt und 1872 patentiert. Beim System Lamm wurde der Speicher direkt mit heißem Wasser entsprechenden Drucks gefüllt. Das war am Anfang ein Problem, da der Druck im Speicher nur schwer auf den des stationären Kessels gebracht werden konnte. Diese Lokomotiven sind ab 1873 in Betrieb gewesen, zuerst bei den Straßenbahnen in New-Orleans, später dann auch in anderen Städten. Mit 3 Kubikmeter Heißwasser von 12 Atmosphären Anfangsdruck soll die Lokomotive 19 Kilometer gefahren sein.

In Europa wurde ein ähnliches System zuerst von dem französischen Ingenieur Léon Francq eingeführt. Francq verwendete zur Füllung überhitzten Wasserdampf und einen Druckregler, der die bei Aufnahme der Fahrt sehr hohen Drücke auf ein für die Zylinderauslegung geeignetes Niveau brachte. Gebaut wurden die Fahrzeuge bei Cail & Co in Paris. Einige Fahrzeuge waren in der Nähe von Paris zwischen Rueil und Marly-le-roi längere Zeit in Betrieb.

Auch in Deutschland hat man mit Maschinen nach diesem oder ähnlichen Verfahren experimentiert. Es sind auch einige „feuerlose Lokomotiven“ für spezielle Anwendungen gebaut worden. Ihr Haupteinsatzgebiet fanden sie bei den Trambahnen, im Rangierdienst und im Kurzstreckenbetrieb. Trambahnlokomotiven nach diesem System wurden beispielsweise von der Locomotivfabrik Hohenzollern gebaut. 1876/77 wurden ferner von Schwartzkopff in Berlin Lokomotiven gebaut, die nach dem Francq'schen Prinzip funktionierten aber zusätzlich noch eine Hilfsfeuerung besaßen. Sie konnten mit einer Füllung 8 Stunden gefahren werden. Ein Probetrieb bei der Berliner Pferdebahn-Gesellschaft hatte keinen Erfolg. Die Maschinen waren zu schwach.

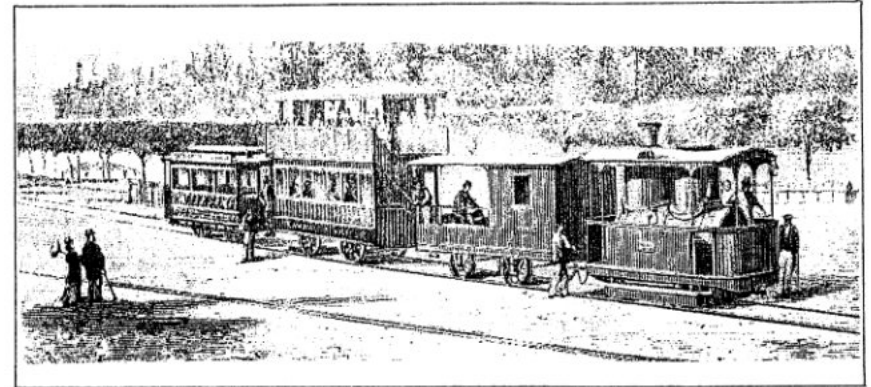


Bild 2.4.2/15: Feuerlose Straßenbahn im Betrieb (um 1880)

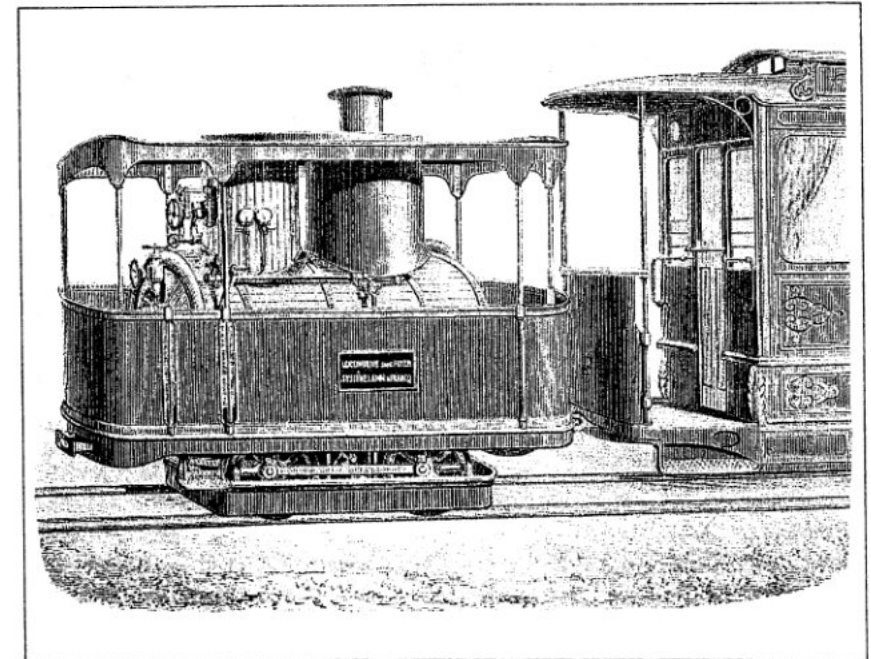


Bild 2.4.2/16: Feuerlose Straßenbahnlokomotive System Lamm und L. Francq (1878)

Wie ein gesamtes Verkehrssystem mit feuerlosen Straßenbahnlokomotiven funktioniert hat und welche Erwartungen man mit dieser Technik verband, wird aus einem zeitgenössischen Beitrag (Glaser's Analen für Gewerbe und Bauwesen. 1882, H. v. 15.7.1882, S. 39 ff.)deutlich. Er soll an dieser Stelle als Zeitdokument in Auszügen wiedergegeben werden:

## Trambahnbetrieb mit feuerlosen Lokomotiven

Von G. Lentz,

Direktor der Lokomotivfabrik Hohenzollern in Düsseldorf

In Italien und Holland hat sich in wenigen Jahren ein so großartiger Dampf-Trambahnbetrieb entwickelt und dehnt sich von Jahr zu Jahr weiter aus, daß in diesen Ländern andere Bahnen als Trambahnen fast gar nicht mehr gebaut werden.

Diese wohlfeilen Kommunikationsmittel heben den Wohlstand der Ackerbau und Handel treibenden Bevölkerung ganz wesentlich und vermitteln zum großen Teil die Zufuhr von kleinen Ortschaften zu den Vollbahnen.

Denselben werden dort in liberalster Weise die öffentlichen Straßen zur Verfügung gestellt, so daß die Gesellschaften keinen Grund und Boden anzukaufen brauchen, und nur nötig haben, die Terrains für Remisen und Reparaturwerkstätten zu beschaffen. Die Haltestellen sind meistens an Restaurants oder Hôtels angelegt und werden die Gebäude in primitivster Weise aufgeführt und ausgestattet, sodafs durch diese Oekonomie die Rentabilität der Unternehmen sehr gefördert wird.

Freilich sind die Betriebsunkosten sehr hoch, denn zur Feuerung der Lokomotiven darf zur Vermeidung des Rauches nur theurer Koke verwandt werden, der in den kleinen Kesseln in sehr unrationeller Weise verbrannt und hierdurch die Dampferzeugung sehr kostspielig wird.

Es sind ferner die Reparaturkosten, welche von Jahr zu Jahr steigen und das große Bedienungsmaterial für die Maschinen, Führer, Heizer, Putzer etc. sehr wesentliche laufende Ausgaben, welche die Rentabilität manches Unternehmens vollständig in Frage stellen.

Auch die Feuersgefahr, durch Auswerfen von Funken aus dem Kamin und Aschkasten, ist oft ein großer Hemm-

schuh für den Lokomotivbetrieb und können die Erstattungskosten von Brandschäden eine Gesellschaft wesentlich schädigen.

Diese angeführten Uebelstände lassen sich vollständig vermeiden, wenn man das System der feuerlosen Lokomotiven anwendet, bei welchem in großen stationären Kesseln Dampf von 17 Atm. Ueberdruck entwickelt und von diesen in den auf der Lokomotive befindlichen zu  $\frac{1}{4}$  mit Wasser gefüllten Rezipient übergeleitet wird, in welchem letzteren der Dampf so lange kondensiert, bis die Spannung sich ausgeglichen hat.

In einem stationären Kessel (siehe in Fig. 1 in Längsschnitt einer Füllkesselanlage) kann durch Kohle, Holz, Torf, Stroh oder ausgepresstes Zuckerrohr, überhaupt durch jedes beliebige Brennmaterial der Dampf erzeugt werden. Ein Grundriß einer solchen Füllkesselanlage mit der zugehörigen Gleisanordnung ist aus Fig. 2 zu ersehen.

Der Rezipient der Maschinen (siehe die photographische Ansicht derselben Fig. 3, sowie den Längsschnitt Fig. 4 und den Querschnitt Fig. 5) wird durch dreifache Blech- und Filzhüllung so gegen Abkühlung geschützt, daß die stillstehende Maschine im Sommer pro Stunde etwa  $\frac{1}{4}$ , im Winter  $\frac{1}{5}$  Atm. Druck verliert.

Der Dampf wird aus dem Dom des Rezipienten durch ein geschlitztes Kupferrohr entnommen, auf seinem Wege durch den Druckregulator auf ca. 7 Atm. Spannung expandiert und dann mittelst eines sehr weiten durch den Wasserraum geführten Rohres dem Regulator zugeführt und hierbei vollständig getrocknet, so daß reiner Dampf ohne

Wasserbeimengung den Cylindern zugeführt, also auf möglichst ökonomische Weise der Dampf ausgenutzt wird.

Der Wasserverbrauch zur Kesselspeisung wird daher auf ein Minimum reduziert.

Aus den kleinen Tramway-Lokomotivkesseln wird verhältnismäßig viel Wasser zu den Cylindern übergerissen, besonders wenn die Maschinen stark arbeiten und der Dampf auf dem Wege zu den Cylindern abkühlt, wogegen er bei der feuerlosen Maschine getrocknet wird, sodafs bei letzterer eine wesentliche Ersparnis an Wasser, an Wärmeinheiten resp. Brennmaterial hieraus resultiert.

Ferner wird bei den stationären Kesseln das Speisewasser mit teils überschüssigen Dampfes durch Pumpen auf billige Weise gehoben, während die Wasserversorgung der gewöhnlichen Tramway-Maschinen in kostspieliger Weise auf den Wasserstationen erfolgt.

Die feuerlose Lokomotive hat statt des Kessels nur einen Rezipienten, der gar keiner Abnutzung unterworfen ist und nach 30jährigem Betriebe noch vollständig brauchbar sein muß, wogegen die kleinen sehr häufig schlecht bedienten und schlecht unterhaltenen Kessel der Tramway-Maschinen nur eine Lebensdauer von 5 bis 8 Jahren haben, während welcher bedeutende Auslagen für Reparatur, Reinigung und Unterhaltung unvermeidlich sind.

Diese werden bei den feuerlosen Lokomotiven vollständig gespart und sind gegen dieselben die Reparatur- und Unterhaltungskosten der großen stationären Kessel verschwindend gering, vorausgesetzt, daß diese von einer Fabrik gebaut sind, die exzellente Arbeit liefert.

Wird dagegen bei diesen Kesseln auf Billigkeit gesehen und die Arbeit einer Fabrik übertragen, welche sich nur mit Herstellung gewöhnlicher stationärer Kessel befaßt, so ist die Sicherheit des Betriebes vollständig in Frage gestellt, denn es giebt nur sehr wenige Fabrikanten, die im Stande sind, gute Kessel für so hohe Dampfspannungen zu bauen.

Für das Fortfallen der Feuerung ist auf feuerlosen Maschinen nur ein Führer nötig, es wird der Heizer überflüssig, was eine weitere beträchtliche Ersparnis verursacht.

Zwar kommt der Heizer und Kohlenschieber der Füllkessel hinzu, jedoch genügen 2 Mann reichlich für 2 Kessel und jeder dieser für 4 Maschinen, so daß auf je 8 Maschinen 6 Mann gespart werden.

Durch das Fortfallen der Kesselreparaturen wird der Reparaturstand der Maschinen geringer, die zu beschaffende Anzahl der Maschinen dadurch kleiner, die Reparaturwerkstätten können geringere Dimensionen erhalten, und das Werkstättenpersonal resp. Löhne und Materialien werden verringert.

Für das Publikum ist die Reinlichkeit und Geruch-

losigkeit beim feuerlosen Betrieb von großer Annehmlichkeit, während sonst die ausgeworfenen Zinder und die schwefeligen Verbrennungsgase recht lästig sind, es bleiben daher auch Maschinen und Wagen reiner, wodurch die Zahl der Putzer verringert werden kann. Das Anheizen der Maschinen fällt fort, da dieselben Abends aufgefüllt und mit Druck in den Schuppen gestellt werden; sie verlieren in der Nacht nur 2 bis 4 Atm. und treten Morgens sofort wieder in Dienst.

Es stellen sich die Betriebsunkosten, d. h. Löhne nebst Betriebsmaterialien pro Kilometer auf 0,207 gegen 0,282  $\text{M}$ . bei Maschinen mit Feuer, in letzterem Falle also 36 pCt. höher und stellt sich die Rentabilität zwischen gewöhnlichem Lokomotivbetrieb und feuerlosem wie 8:11 $\frac{1}{4}$ , dagegen ist ein um 20 pCt. höheres Kapital bei Etablierung des feuerlosen Betriebes gegenüber

dem mit Feuer erforderlich, jedoch rentiert sich trotz des höheren Kapitals die feuerlose Betriebs-Anlage um 40 bis 50 pCt. besser.

Es giebt Fälle, wo ein Betrieb mit gewöhnlichen Maschinen überhaupt unmöglich ist, z. B. wo die Feuersgefahrlichkeit ihn verbietet, oder wo bei gegebenen Verhältnissen die Maschinen viel zu schwer werden. Freilich ist auch der feuerlose Betrieb nicht in allen Fällen anwendbar, um

darüber Klarheit zu verschaffen, sollen hier einige Fälle besprochen werden.

1. Es sollen 2 Ortschaften, A und B (Figur 6), mit einander durch eine Trambahn verbunden werden, von denen eine etwa 100 m höher als die andere liegt. Die zu benutzende Fahrstraße hat eine 2 km lange Steigung von 5 pCt. und 1 km horizontale Strecke und wird der Oberbau der Billigkeit halber so leicht genommen, daß mehr als 2500 kg Raddruck nicht zulässig ist.

Es sollen Züge von 3 besetzten resp. beladenen Wagen im Gesamtgewicht von 12 tons jedesmal befördert und die zulässige Maximalgeschwindigkeit für Trambahnen von 15 km möglichst eingehalten werden.

Bedingung für den feuerlosen Betrieb wird in diesem Falle, daß die Maschine bei der Thalstation gefüllt wird,

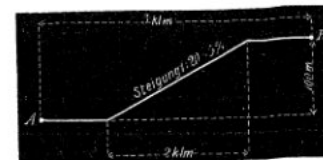


Fig. 6.

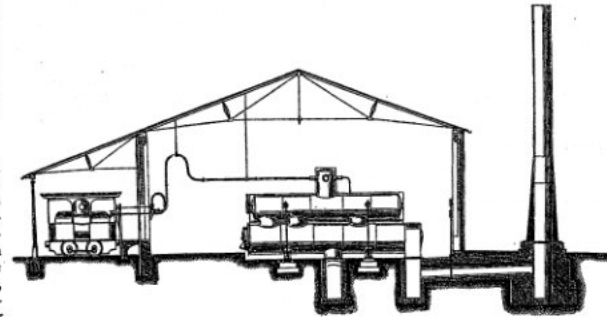


Fig. 1.

Längsschnitt einer Füllkesselanlage für Betrieb mit feuerlosen Lokomotiven.

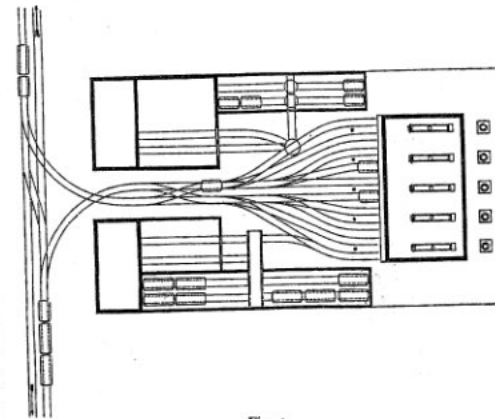


Fig. 1.

Grundriß einer Füllkesselanlage für Betrieb mit feuerlosen Lokomotiven.

damit sie mit hohem Druck die Steigung nimmt und mit niedriger Spannung zu Thal und auf der Horizontalen fährt. In der Praxis erfüllt sich in der Regel die Bedingung von selbsten, da gerade am niedrigsten Punkte der Strecke am leichtesten Wasser und Brennmaterial zu haben sind.

Der mittlere Zugwiderstand des Trains inkl. Maschine beträgt bei 15 km Geschwindigkeit auf freier Strecke 10 bis 11 kg pro ton, in Ortschaften, wo die Geleise stets sehr schmutzig sind 12—13 kg; wir nehmen hier 11 kg pro ton an. Der durch die Steigung von 5 pCt. verursachte Zugwiderstand beträgt 50 kg; demnach der Totalzugwiderstand 61 kg pro ton.

*Feuerlose Lokomotive, gebaut von der Lokomotivfabrik Hohenzollern in Düsseldorf.*

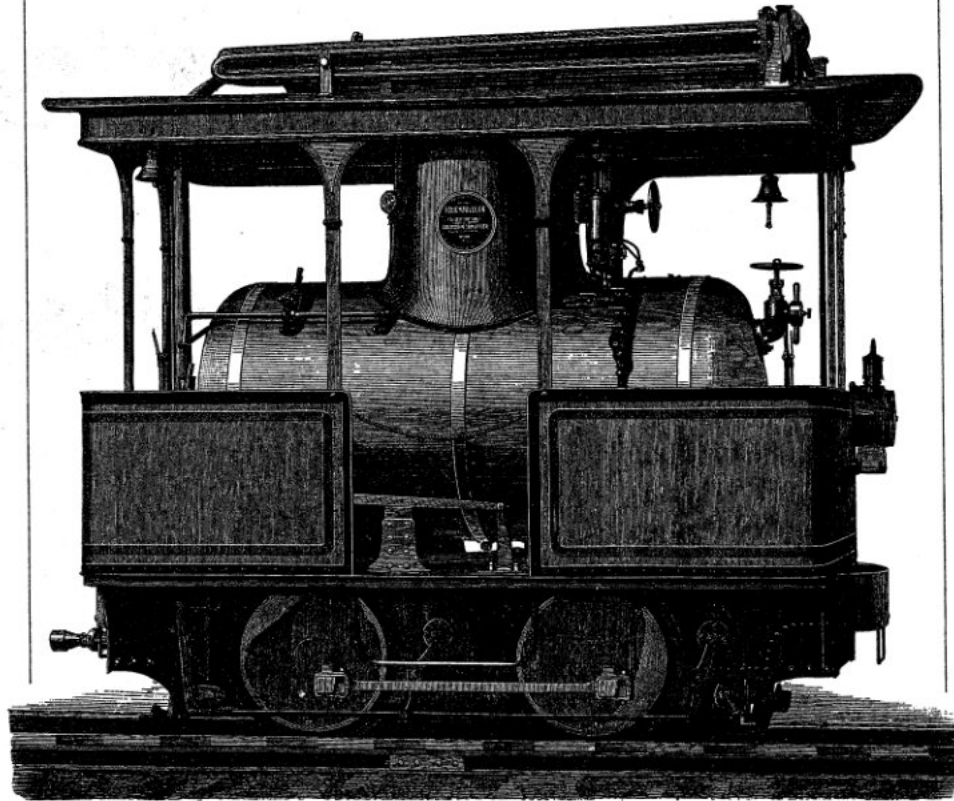


Fig. 3.

Wegen der vorgeschriebenen Maximalbelastung nehmen wir die Maschine in einem betriebsfähigen Gewicht von  $9\frac{1}{4}$  tons an, es beträgt demnach das Totaltraingewicht  $21\frac{1}{4}$  tons und der Zugwiderstand  $21\frac{1}{4} \times 61 = 1312$  kg, demnach das Adhäsionsverhältnis  $\frac{1312}{9500} = 1 : 7,2$ , was genügt.

Der Wasserinhalt des Rezipient der Maschine berechnet sich wie folgt:

Ist  $P$  die Anzahl der im Rezipient enthaltenen Liter überhitzten Wassers,  $L$  die Länge der zu durchlaufenden Strecke in Meter,  $H$  die Summe der einzelnen zu überwindenden Steigungen in Meter und  $Q$  das Totaltraingewicht in Kilogramm, so findet man  $P$  durch die Formel

$$P = \frac{0,011 \times L + H}{1500} \times Q,$$

da jedes Liter überhitztes Wasser im Rezipient 1500 Kilogramm, während es von 15 Atm. Ueberdruck bis 3 Atm. ausgenutzt wird, abgibt.

Hier ist  $L = 4000$ , da bei der Thalfahrt 1 km horizontale Strecke mit zu berücksichtigen ist,

$$H = 100,$$

$$Q = 12\,000 + 9500 = 21\,500$$

$$\text{demnach } P = \frac{0,011 \times 4000 + 100}{1500} \times 21\,500$$

$$\text{oder } P = 2064 \text{ l.}$$

Da eine Maschine von 9500 kg betriebsfähigem Gewicht 2100 l Wasser enthält, so genügt dieselbe vollständig.

Lokomotive gegenüber der gewöhnlichen Maschine ist der, daß sie die im Rezipient aufgespeicherte Kraft ganz beliebig konsumieren, also eine konstante Geschwindigkeit auf jeder beliebigen Steigung einhalten kann, während die Fahr-Geschwindigkeit der gewöhnlichen Maschine wesentlich von der Steigung abhängt, wobei berücksichtigt werden muß, daß, je geringer die Geschwindigkeit derselben ist resp. die Anzahl der Exhaustschläge per Sekunde, welche das Feuer anfachen, um so schwächer die Dampferzeugung wird und solche Maschine auf starker Steigung sehr leicht sitzen bleibt, was einer feuerlosen Lokomotive gar nicht passieren kann, da eine leichte Maschine, wenn nötig, 100 Pferdekraft entwickeln kann, während eine doppelt so schwere gewöhnliche Lokomotive es kaum im Stande ist.

2. Sind 3 Ortschaften A, B und C (Fig. 7) mit einander zu verbinden, von welchen die mittlere am niedrigsten liegt,



Fig. 7.

— es ist dieses die Disposition der mit feuerlosen Lokomotiven betriebenen Strecke Rueil-Port Marly — Marly le Roi in der Nähe von Paris —, so muß, um mit möglichst leichten Maschinen, resp. leichtem Oberbau auszukommen, die Füllstation nach dem tiefsten Punkte, nach B gelegt

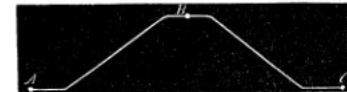


Fig. 8.

werden, es machen dann die Maschinen die Wege B—A—B und B—C—B und werden jedesmal in B neu gefüllt.

Wollte man nun eine gewöhnliche Maschine mit Feuer für diesen Betrieb anwenden, so würde bei der vorgeschriebenen Geschwindigkeit von 15 km pro Stunde die Maschine von folgender Stärke sein müssen.

Der Zugwiderstand in Kilogramm mal Geschwindigkeit in Metern pro Sekunde dividirt durch 75, giebt die Anzahl der erforderlichen Pferdestärken

$$\frac{1312}{75} \times \frac{15\,000}{60 \times 60} = 73 \text{ Pferdestärken.}$$

Dieses würde eine Maschine von etwa 13000 kg Gewicht sein, welche für die gegebenen Schienen zu schwer wäre und zur eigenen Fortbewegung eine wesentlich größere Kraft, also größeren Koke- und Wasser- resp. Geldaufwand erfordern würde als die oben angenommene feuerlose Lokomotive.

Ein nicht zu unterschätzender Vortheil der feuerlosen



Feuerlose Lokomotive für Trambahnbetrieb, gebaut von der Lokomotivfabrik Hohenzollern in Düsseldorf.

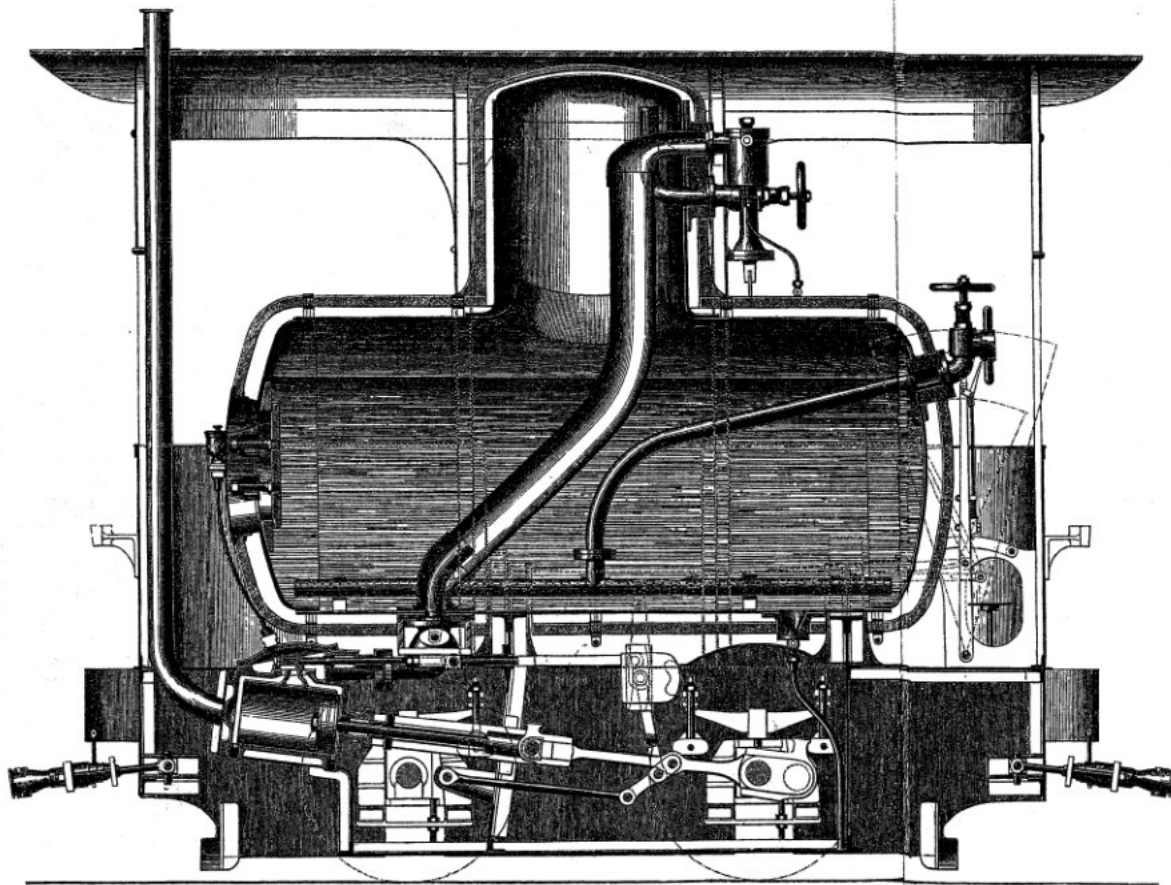


Fig. 4 Längsschnitt.

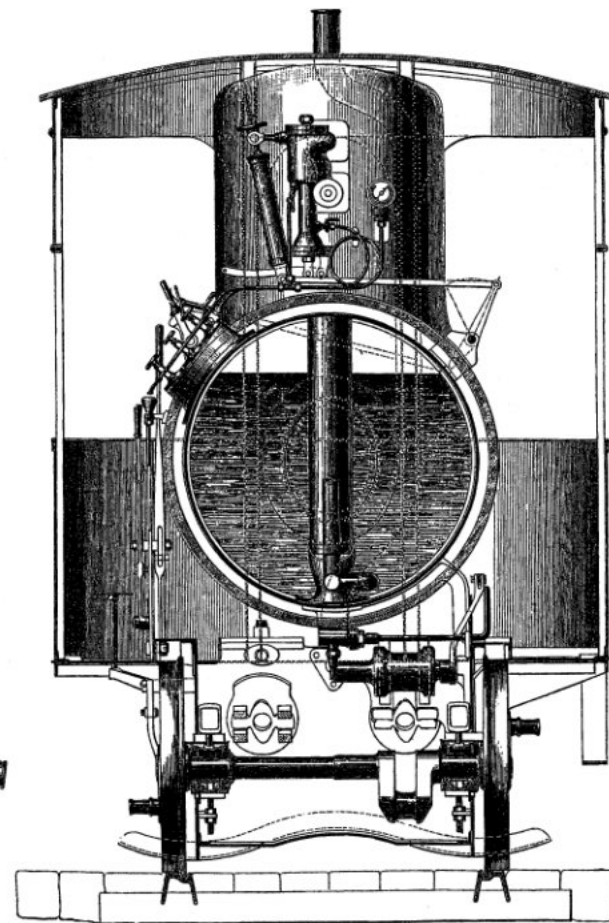
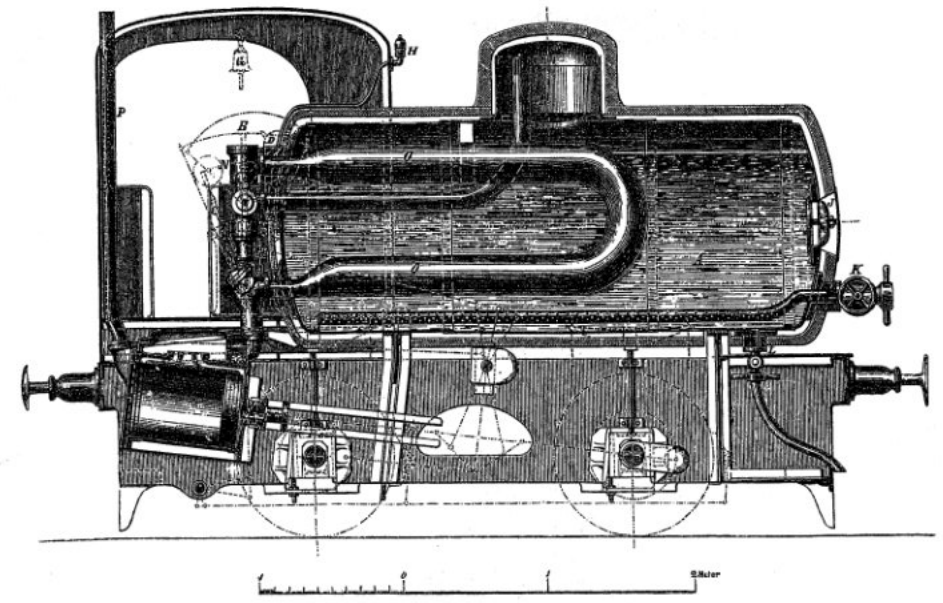
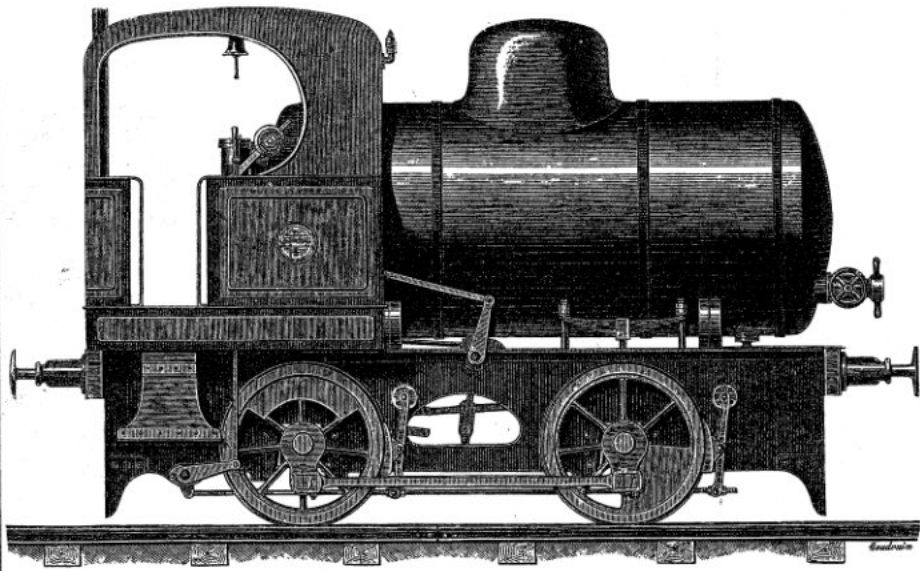


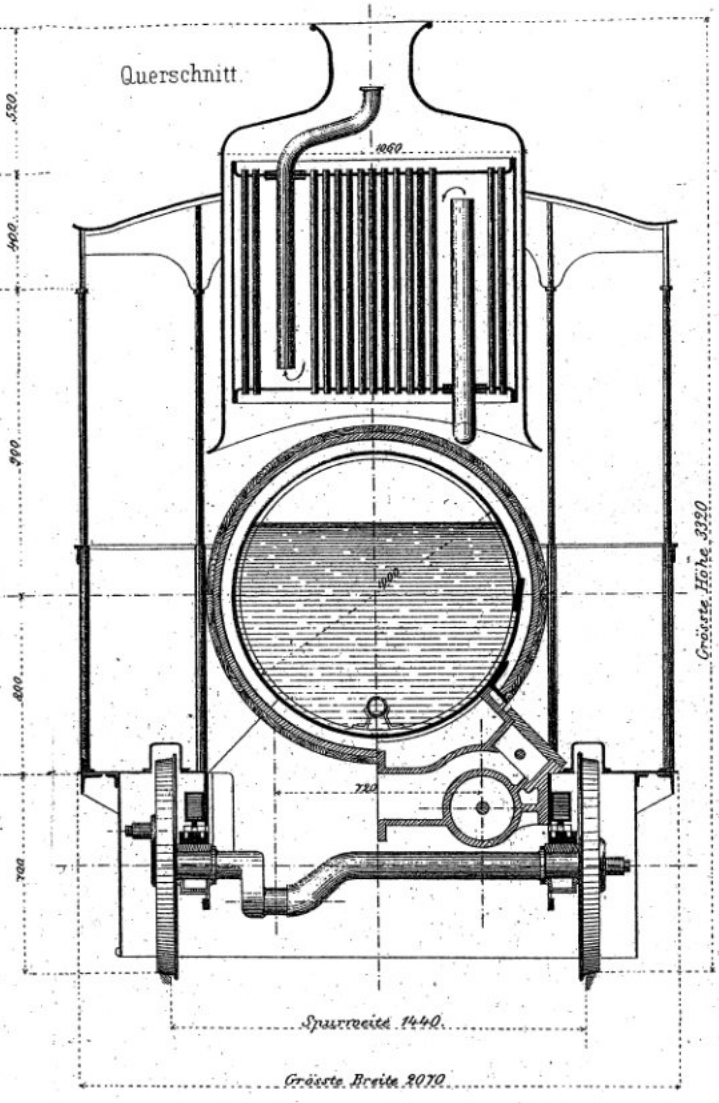
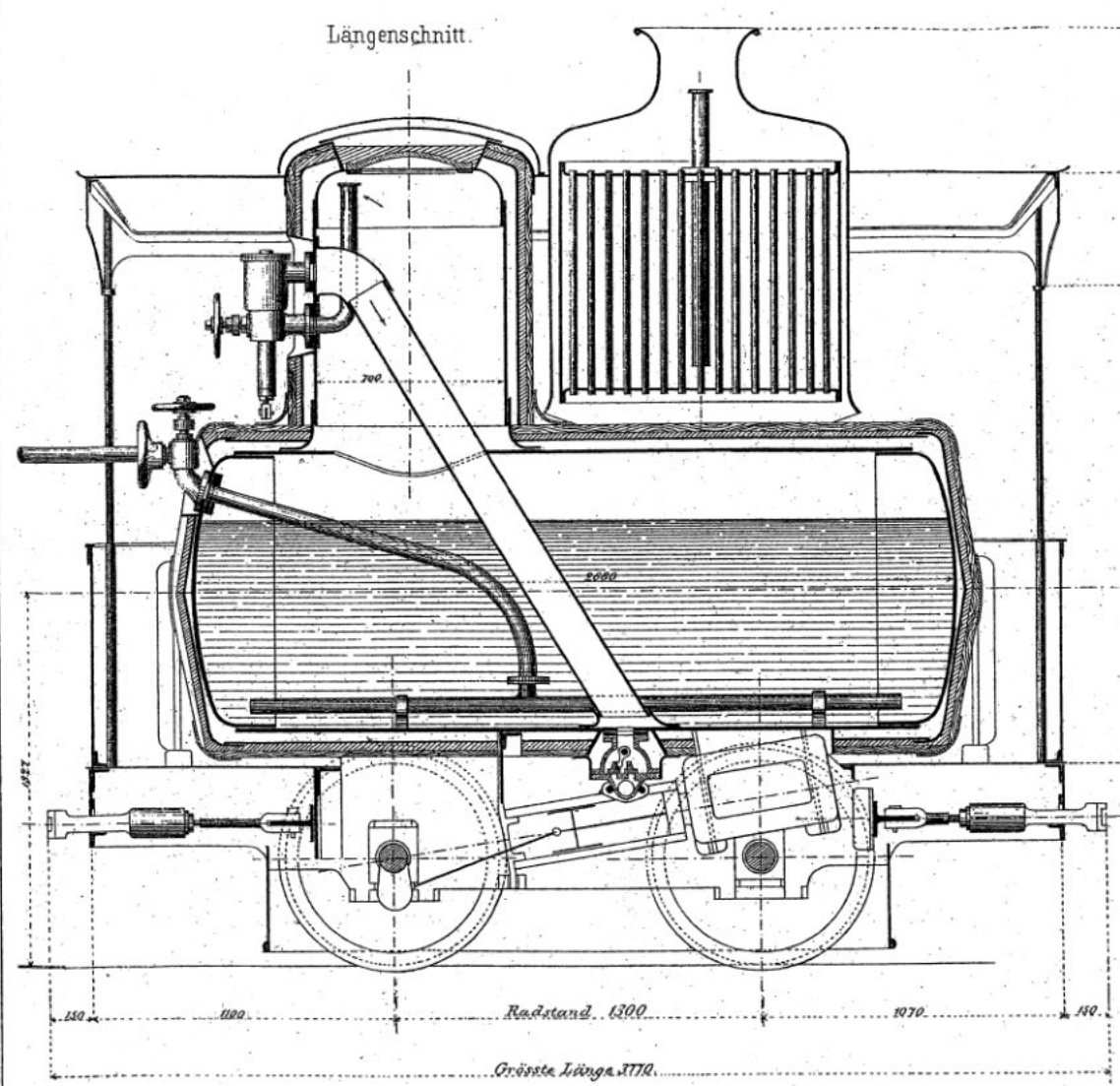
Fig. 5 Querschnitt.

Tafel 2.4/21: Feuerlose Straßenbahnlokomotive (1882)  
Hersteller: Lokomotivfabrik Hohenzollern

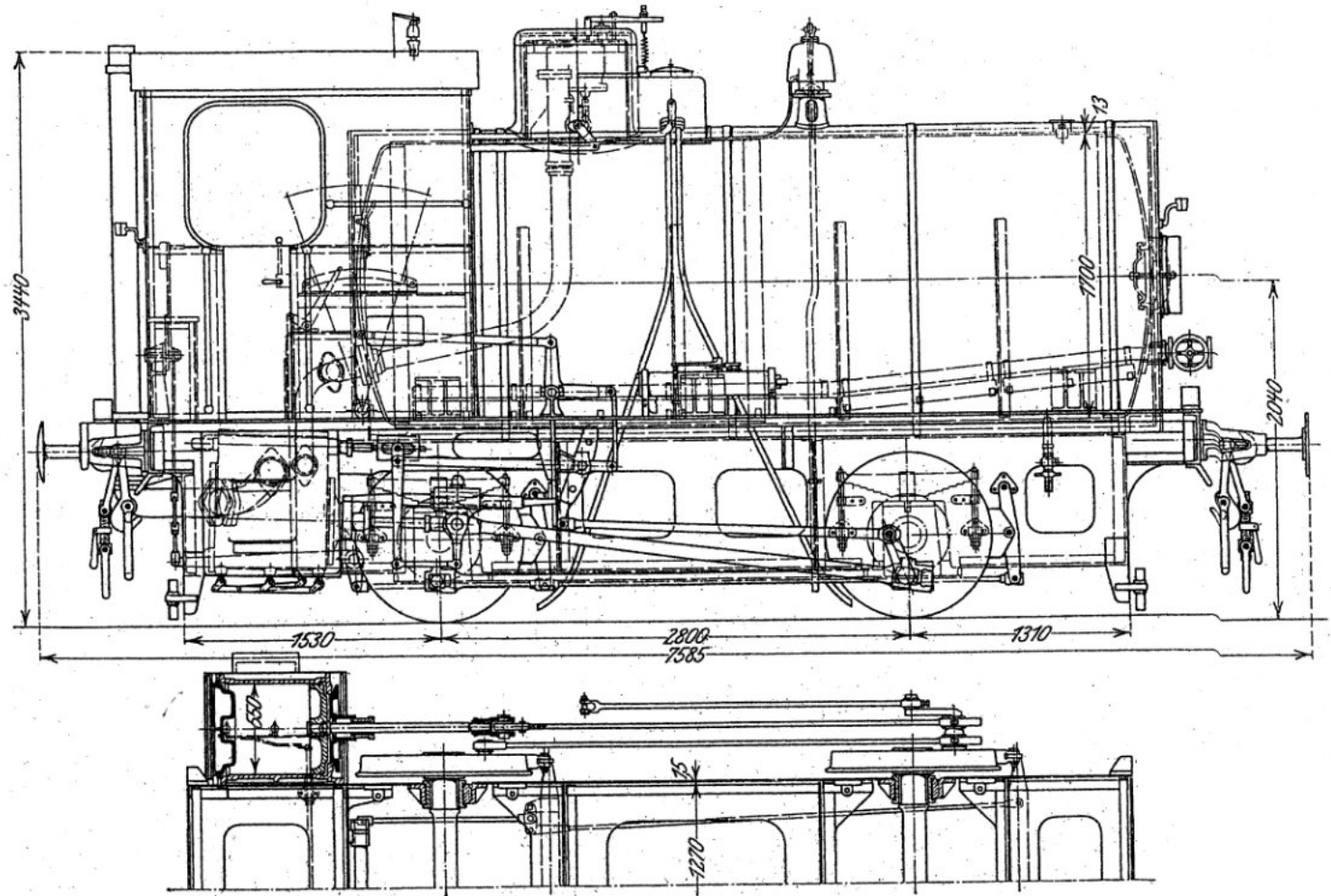




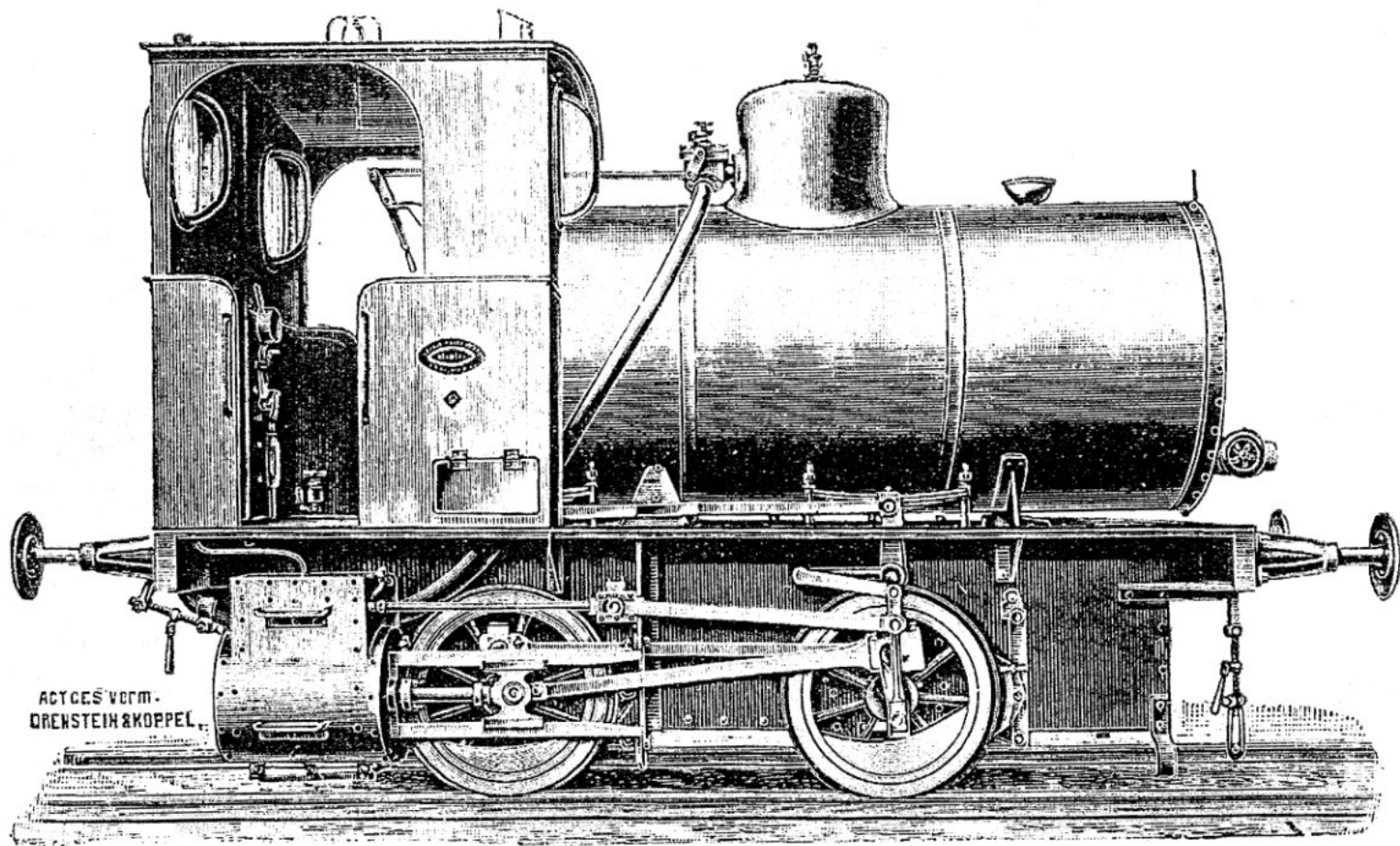
Tafel 2.4/22: Feuerlose Rangierlokomotive (1883)  
Hersteller: Lokomotivfabrik Hohenzollern



Tafel 2.4/23: Feuerlose Lokomotive  
(System E. Lamm und L. Franco)



Tafel 2.4/24: Feuerlose Lokomotive moderner Bauart (1912)



Tafel 2.4/25: Feuerlose Lokomotive (um 1910)  
Hersteller: Aktien-Gesellschaft für Feld- und Kleinbahnbedarf  
(vormals Orenstein & Koppel, Berlin)



### Straßenbahnen mit feuerlosen Lokomotiven (Natronlokomotiven)

Es gab auch eine ganze Reihe an Versuchen, die exothermen Reaktionen einiger chemischer Prozesse zur feuerlosen Dampferzeugung zu nutzen. Größere Bekanntheit hat in Deutschland das „Honigmann'sche Natronverfahren“ besessen. Bei diesem Verfahren wurde die entstehende Wärme bei der Reaktion von Natronlauge und Wasserdampf genutzt. Zu Anfang wurde mit offenen, unter dem Druck der äußeren Atmosphäre stehenden Natronräumen gearbeitet. Der Natronprozess wurde unterbrochen, wenn der Siedepunkt der Lauge, der der notwendigen Dampfspannung im Wasserkessel entsprach. Von diesem intermittierenden Prozess ist man nach einiger Zeit abgegangen und setzte geschlossene Natronkessel mit höherem Innendruck ein. Dadurch konnten die Zylinderabmessungen der Lokomotiven auf ein übliches Maß reduziert werden. Die Temperaturen im Natronkessel lagen, je nach Konzentration der Lauge, bei 160° Celsius und mehr. Beim Betrieb verdünnte sich die Lauge durch den eingeleiteten Abdampf. Der Überdruck im Natronraum fiel dabei von etwa 11/2 auf fast 0 at Überdruck. Einige Probleme bereitete die Herstellung der Natronkessel. Die Lauge griff das im Kesselbau übliche Eisenblech rasch an und zersetzte es. Als geeignete Materialien mit hinreichend hoher Widerstandsfähigkeit erwiesen sich nur Kupfer und Messing. Trotzdem hatten die Kessel nur eine begrenzte Haltbarkeit. Die Form der Kessel war fast immer rein zylindrisch.

Im Bild 2.4.2/17 ist eine Schnittdarstellung und in der Tafel 2.4/25, Figur 1, die Prinzipskizze einer kleinen Trambahn-Natronlokomotive wiedergegeben. Der Kessel ist senkrecht angeordnet. Die beiden liegenden Dampfzylinder wirken direkt auf eine Achse. Es gab auch Ausführungen mit stehender Maschine und Zahnradvorgelege. Die beiden Laufachsen sind außen gekuppelt. Der Betriebskessel besteht aus zwei übereinander liegenden Teilkesseln mit gleichem Durchmesser. Unten der Natronkessel. Oben der Wasser- und Dampfessel. Vom Wasserkessel ragen nur die von der Natronlauge umspülten Heizrohre in den Natronkessel hinein. Der Wasserkessel fasst bis zur üblichen Füllung bis Mitte 400 Liter. Der während des Betriebs sinkende Wasserstand konnte mit Hilfe eines Injektors nachgespeist werden. In einem Wasserbehälter standen dafür 300 – 350 Liter Wasser zur Verfügung. Die Lokomotive wog 6 Tonnen. Der Betriebs-Dampfdruck lag bei 4 bis 5 at. Der Zylinderdurchmesser der Maschine betrug 180 mm, der Hub 230 mm. Unterhalb des Kessels, zwischen den Achsen sind die Behälter für den Wasservorrat untergebracht. Mit einer Füllung von 900 kg Natronlauge mit 16- 20 % Wassergehalt konnten 27 kurze Fahrten in 4 ½ Stunden gemacht werden.

Zur Aufbereitung der verdünnten Natronlauge mussten so genannte „Eindampfstationen“

#### Bemerkung:

Im großen Brockhaus von 1885 ist zum Stichwort „Natrondampfessel“ vermerkt: Ein von Moritz Honigmann in Grevenberg bei Aachen erfundener Dampfessel, der den Zweck hat, für Lokomobilen, stationäre Dampfmaschinen, namentlich aber für Eisenbahn- und Straßenlokomotiven, Dampf zu liefern, ohne direkt mit Brennmaterial beheizt zu werden. Das Prinzip des N. beruht auf der Erscheinung, daß gewisse Salzlösungen, speziell konzentrierte Natronlauge, den eingeleiteten Wasserdampf unter Wärmeentwicklung bis zu ihrem höher als die Temperatur desselben liegenden Siedepunkt absorbieren, sodaß durch die hierbei erzeugte Wärme Wasser in Dampf von gewisser Spannung verwandelt werden kann. Diese Eigenschaft der Natronlauge wird benutzt, um den in einem Dampfzylinder schon zur Wirkung gekommenen Dampf (Abdampf oder Auspuffdampf) zur Erzeugung von frischem Dampf zu verwenden, indem man denselben in Natronlauge kondensiert. Die entwickelte Wärme erzeugt wiederum neuen Dampf. Dieser Kreislauf geht so lange fort, bis durch den fortwährend eingeleiteten Dampf die Natronlauge so verdünnt ist, daß der Siedepunkt derselben sich demjenigen des Wassers zu sehr nähert, um noch die Bildung von Dampf von größerer Spannung zu ermöglichen. Trotz der durch Abkühlung stattfindenden Wärmeverluste ist eine Zunahme der Gesamtwärme konstatiert; es muß also, außer der der Lauge durch den Auspuffdampf zugeführten Wärme, noch eine andere Wärmequelle existieren, die wahrscheinlich auf die bei der Aufnahme von Wasser durch das Natron frei werdende chem. Energie, wie sie sich z. B. beim Löschen des Kalks zeigt, zurückzuführen ist. Durch diese Erfindung werden die für manche Zwecke, namentlich auch für die Anwendung auf Straßenbahnen, hinderlichen Übelstände des Dampftriebs, besonders Rauch- und Russbildung, vermieden.

#### Tafel 2.4/25

betrieben werden. In der Tafel 2.4/4 ist eine solche Station in Figur 2 dargestellt. Je nach Betriebsbedingungen war eine Station für 3 bis 4 Lokomotiven erforderlich. In diesen Stationen wurde durch Erhitzen und Verdampfen des aufgenommenen Wassers die Konzentration der Lauge wieder auf einen für den Betrieb geeigneten Wert gebracht. Der Betrieb dieser „Eindampfstationen“ war ein großer Nachteil der Natrontechnik. Man versuchte daher durch Stationen ohne direkte Feuerung das Verfahren wirtschaftlicher zu machen. Figur 3 in Tafel 2.4/25 zeigt so eine verbesserte Station. Man setzte auf einen geschlossenen Kreislaufprozess und führte nur die Energie über eine Kompression zu, die zum Verdampfen des in der Lauge enthaltenen Wassers notwendig war. Natronlokomotiven waren u. a. längere Zeit im innerstädtischen Verkehr bei der Aachener Stadtbahn im Einsatz. Die in Tafel 2.4/25 (Figur 1) skizzierte Trambahnlokomotive fuhr längere Zeit auf der Aachener Pferdebahnstrecke Kölnthor – Wilhelmstraße ohne nennenswerte Probleme. Auf überregionalen Linien liefen größere Natronlokomotiven bei der Aachen-Jülicher Eisenbahn. Figur 4 in Tafel 2.4/25 zeigt die prinzipielle Konstruktion einer solchen Lokomotive. Das Dienstgewicht betrug 45 Tonnen. Die 6 gekuppelten Räder besaßen einen Durchmesser von 1200 mm. Der Zylinderdurchmesser lag bei 600 mm, der Hub bei 620 mm. Der Natronkessel hatte einen Durchmesser von 2000 mm und eine Länge von 6000 mm. Der Wasserkessel hatte zwei erweiterte Wasserräume an den Stirnseiten. Von diesem gingen schräg laufende Wasserrohre durch die Lauge des Natronkessels. Die „Heizfläche“ lag bei 80 m<sup>2</sup>. Die Lokomotive wurde im Personen- und Güterzugbetrieb zwischen Aachen und Jülich über eine Strecke von 54 km im planmäßigen Betrieb eingesetzt. In der Figur 5 der Tafel 2.4/25 ist das Prinzip einer kleineren Natronlokomotive mit einer etwas anderen, leichteren Kesselkonstruktion dargestellt. Die Trennung von Natron- und Wasserraum wird hierbei nicht durch einen Innenkessel bewerkstelligt, sondern durch zwei Trennwände, die durch ein Röhrensystem aus Kupfer oder Messingrohre verbunden sind. Der mittlere Raum des Kessels nimmt die Natronlauge auf. Die beiden Kesselräume an den Enden enthalten das Wasser. Die Technik der Natronlokomotiven und deren Wirtschaftlichkeit waren in jener Zeit heftig umstritten. Letztendlich konnte sie die in sie gestellten Erwartungen nicht erfüllen. Als Gesamtsystem war sie, wegen der erforderlichen Infrastruktur mit Eindampfstationen u.a.m., zu aufwendig. Die aggressive Natronlauge machte die eingesetzte Technik anfällig und gefährlich. Im Vergleich zu den Dampflokomotiven war das System auf Dauer nicht wirtschaftlich.

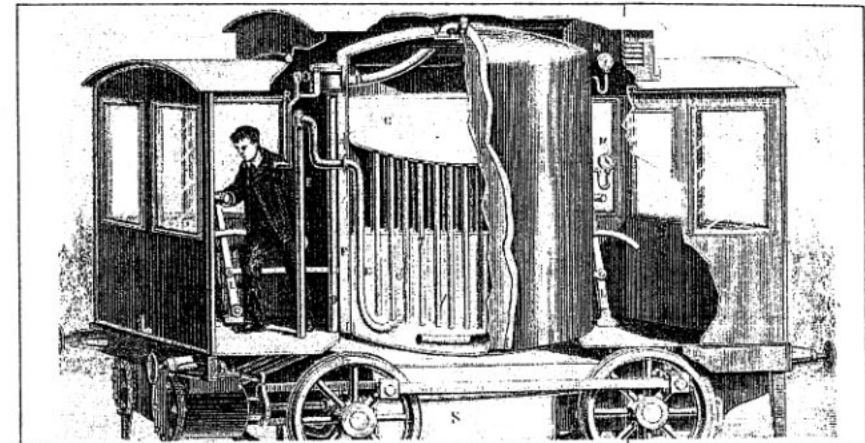


Bild 2.4.2/17: Anschauliche Schnittdarstellung einer Straßenbahnlokomotive System M. Honigmann (1885)

**Bemerkung:**

Der Kenntnisstand zur Theorie feuerloser Natronkessel soll anhand eines zeitgenössischen Artikels einer Fachzeitschrift ungekürzt wiedergegeben werden. Die Deutsche Industrie-Zeitung (1887, 28. Jg., S. 406 und 407) schreibt dazu:

**Die Honigmann'sche Dampfmaschine mit feuerlosem Natronkessel.**

(Mit 2 Abbildungen.)

Der sogenannte Natrondampfessel ist ein von Moriz Honigmann, erste deutsche Ammonial-Soda-fabrik in Greibenberg bei Aachen, erfundener Dampfessel, der den Zweck hat, für Lokomobile, stationäre Dampfmaschinen, besonders aber für Eisenbahn- und Straßenlokomotiven Dampf zu liefern, ohne direkt mit Brennmaterial gefeuert zu werden. Dem Natrondampfessel liegt die Thatsache zu Grunde, daß Natronlauge von gewissem Konzentrationsgrade und dadurch festgelegtem Siedepunkte Wasserdampf unter Wärmerückgewinnung aufnimmt, so daß die Lauge benutzt werden kann, den Auspuffdampf, d. i. ausgenutzten Dampf einer Dampfmaschine, zu kondensiren und durch die hierbei entstehende Erzeugung der Lauge neues Wasser zu verdampfen und neuen Dampf zu liefern. Der gekennzeichnete Prozeß läßt sich so lange fortsetzen, bis die Lauge durch die Kondensation des Auspuffdampfes so verdünnt worden ist, daß sie zu siedern anfängt, d. h. bis ihr Siedepunkt zu der Temperatur des in sie einströmenden Auspuffdampfes herabgedrückt ist: von diesem Augenblick an hört naturgemäß jede weitere Aufnahme von Auspuffdampf auf.

Trotz der durch Abkühlung stattfindenden Wärmeverluste ist eine Zunahme der Gesamtwärme konstant; es muß also, außer der der Lauge durch den Auspuffdampf zugeführten Wärme, noch eine andere Wärmequelle existiren, die wahrscheinlich auf die bei der Annahme von Wasser durch das Natron frei werdende chemische Energie zurückzuführen ist. Solche Vorgänge stehen nicht vereinzelt da; die freierwerbende chemische Energie zeigt sich z. B. beim Mischen des Kaltes; ein ähnliches Verhalten tritt auch bei der Vermischung konzentrierter Schwefelsäure mit Wasser auf. Unter anderen Versuchen hat M. Honigmann Dampf in konzentrierte Schwefelsäure geleitet und gefunden, daß Schwefelsäure thatsächlich ähnliches Verhalten zu Wasserdämpfen zeigt wie Natron und sich, abgesehen von praktischer Schwierigkeit, für den gleichen Zweck eignen würde wie Natron, daß jedoch die Absorption nur bis 130° C. Erhöhung anbauert.

Betrachtet man die Siedepunkte der Natronlauge bei verschiedenen Verdünnungsgraden, so erkennt man daraus in klarer Weise die Wirkungsweise des Honigmann'schen Verfahrens. Die Siedepunkte mit den den Siedepunkten entsprechenden atmosphärischen Drucken des Wassers ergibt die nachfolgende Tabelle (nach Riebler):

Natronlauge	Siedepunkt	Atm. Druck (absolut)
100 Na OH + 10 HO	256° C.	—
" + 20 "	225,3	—
" + 30 "	200	—
" 40 "	185,3	11,3
" 50 "	174,6	8,7
" 60 "	166	7,1
" 70 "	159,6	6,1
" 80 "	154	5,2
" 90 "	149	4,6
" 100 "	144	4,0
" 150 "	128	2,7
" 200 "	120	1,85
" 250 "	114	1,6
" 300 "	110,3	1,4

den Prozeß mit Wasser von 144° einleiten; er dauert so lange, bis durch die Aufnahme des auspuffenden Dampfes die Lauge auf den Siedepunkt 144° verdünnt ist. Ist dieser Punkt erreicht, so ist die Lauge nicht mehr im Stande, sämtlichen Auspuffdampf aufzunehmen und zu absorbiren; verringert man dagegen den Dampfdruck, so kann der Prozeß weiter fortgesetzt werden. Die Wirkung und Grenze der Anwendbarkeit des Verfahrens stehen somit in Zusammenhang mit dem Wassergehalt der Lauge (bez. ihrem Siedepunkt) und dem Dampfdruck und der Dampfmenge.

Ist die Natronlauge bei der gegebenen Dampfspannung so weit verdünnt, daß sie keinen Auspuffdampf mehr aufnehmen kann, so muß für den Wiederbeginn des Verfahrens der Natronkessel mit frischer konzentrierter Lauge beschickt oder der gebrauchten Lauge wieder durch Eindampfen der Wassergehalt entzogen werden. Der Werth der Honigmann'schen Erfindung ergibt sich aus der vorstehenden Betrachtung und steht der Erfindung ein weites Feld erfolgreicher Anwendung und eine hervorragende Zukunft offen. Die Dampfspannung im Wasserkessel bleibt konstant vom Beginn des Prozesses an, die Betriebsmaschine kann somit von Anfang an und während der ganzen Dauer des Prozesses mit ganzer Kraft in Thätigkeit gesetzt und ohne schwierige Regulirung betrieben werden. Der Unterschied der Temperatur zwischen der Natronlauge und

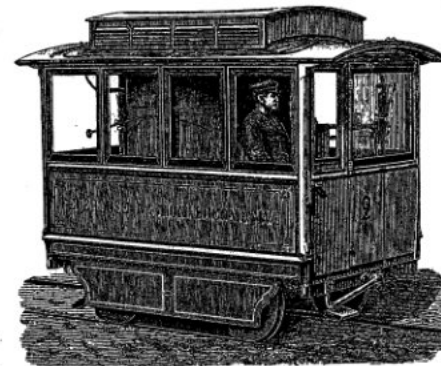


Fig. 1.

dem Wasserraum ist bei richtiger Kesselkonstruktion sehr gering (6 bis 10° C.), da bei guter Heizflächenwirkung der Wärmeaustausch rasch erfolgt. Uebrigens hat der Natronkessel keinen Druck auszuhalten.

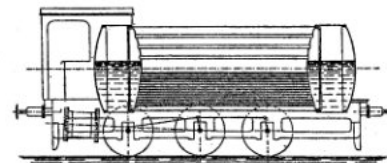


Fig. 2.

Der Natrondampfessel arbeitet ohne direkte Feuerung und ohne Ausströmen von Feuergasen. Diese Eigenschaften sind für solche Anlagen von unberechenbarem Vortheile, wo — wie in Bergwerken, Tunneln oder bei Straßenbahnen — freier Auspuff des Dampfes und die Ausströmung von Feuergasen nicht stattfinden soll.

Für die praktische Verwendung hat sich ein Wassergehalt der Lauge von 20 bis 25 Proz., entsprechend 210 bis 220° C., am geeignetsten erwiesen. Bei Benutzung einer solchen Lauge braucht der Kessel nur mit Wasser von 80 bis 90° C. Wärme gefüllt zu werden, da während des Einfüllens der Lauge und eines kurzen Stillstandes des Kessels durch die Temperaturausgleichung zwischen Natron und Wasser die Temperatur des letzteren bis zu einer Dampfspannung von 4 bis 5 Atm. steigt.

Der Natronraum wird nun mit Lauge von dem oben angegebenen Wassergehalt und einer Temperatur von ca. 200° C. angefüllt; ebenso der Wasserraum mit angewärmtem Wasser von 80 bis 90° C. Wärme. Die Temperatur des Wassers steigt rasch auf mehrere, 4 bis 5 Atmosphären, während infolge der Wärmeabgabe die Temperatur der Natronlauge abnimmt. Es kann jetzt die Dampfmaschine in Tätigkeit gesetzt werden dadurch, daß man den Dampfraum des Wasserschalters mit derselben in bekannter Weise in Verbindung bringt. Der gebrauchte Wasserdampf wird in die Natronlauge zurückgeleitet, von derselben kondensiert und die Lauge selbst erhitzt; die hierbei entwickelte Wärme verwandelt neue Teile des Wassers im Wasserkessel in Dampf.

Um die verdünnte Lauge wieder gebrauchsfähig zu machen, muß dieselbe wieder eingedampft werden. Wir besprechen zunächst das Eindampfen in feststehenden Anlagen, in welchen die Entseerung der gebrauchten Natronkessel und das Wiederfüllen mit frischer konzentrierter Lauge stattfindet. Eine solche Anlage besteht aus mehreren Kesseln, welche hintereinander über eine Feuerung eingemauert sind. Der erste Kessel, welcher die erste Hitze empfängt, dient zur vollen Eindampfung, der zweite zum Vorwärmen und theilweisen Eindampfen der Lauge, der letzte Kessel ist mit Wasser gefüllt und beschafft das zum Betrieb notwendige Wasser. Die Kessel werden so hoch gelegt, daß das Füllen der Betriebskessel aus den Abdampfkesseln durch den Flüssigkeitsdruck erfolgt. Die gebrauchte Lauge wird dann in ein besonderes Bassin geleitet und aus diesem durch Dampfdruck in den zweiten Kessel getrieben. Das Wiedereindampfen der Lauge erfordert nur wenig mehr Brennmaterialaufwand, als bei direktem Dampfkesselbetrieb. Ein Verlust an verflüchtigtem Natrium findet nicht statt.

Durch das Eindampfen der Natronlauge, getrennt vom Natronkessel durch direkte Feuerung, wird jedoch die Anwendung des Verfahrens erschwert, denn es wird für manche Fälle die Anlage und der Betrieb einer besondern Abdampfvorrichtung mit Aus- und Einfüllen der Lauge zu umständlich. Deshalb ist das Honigmann'sche patentirte Verfahren (Patente Nr. 34 320 und 34 778) von erheblichem Vortheil. Nach diesem Verfahren wird die Natronlauge in dem Natronkessel selbst mittelst gespannten Dampfes eingedampft und ist dieses Verfahren bereits an einigen großen Lokomotiven mit Erfolg ausgeführt worden.

Der Dampf eines stationären Dampfkessels wird in den Natronkessel so eingeleitet, daß er von dem Wasser desselben absorbiert wird. Dies geschieht in der einfachsten Weise dadurch, daß das Dampfrohr mit vielen kleinen Röhren in die Heizröhren des Wasserkessels einmündet; die infolge dessen bewirkte Zirkulation des Wassers überträgt die Temperaturerhöhung, welche durch die Absorption des Dampfes eintritt, schnell auf die Natronlauge und verdampft dieselbe so lange, bis deren Siedepunkt annähernd gleich ist der Temperatur des gespannten Dampfes.

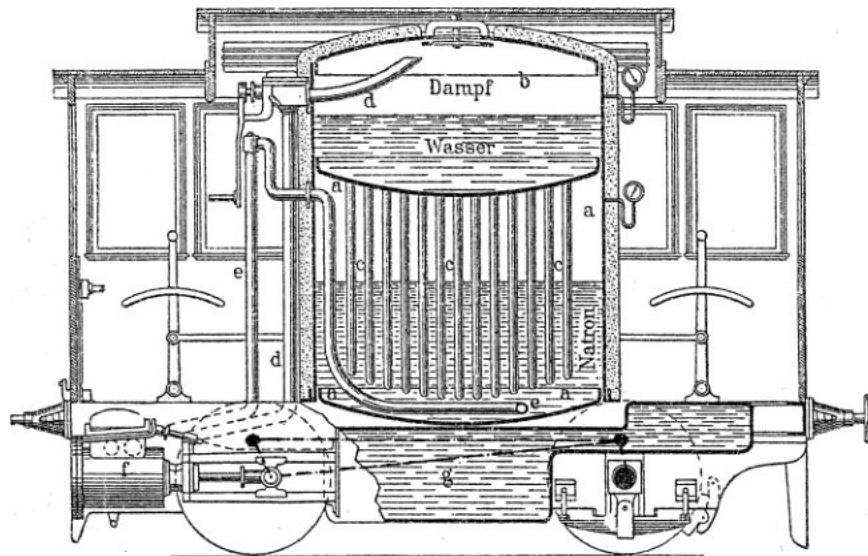
Die Betriebsweise eines solchen Kessels ist folgende: Hat der stationäre Dampfkessel 5 bis 6 Atm. Ueberdruck, so lassen sich die Natronlauge bis zu einem Siedepunkt von 165° C. eindampfen, dabei wird gleichzeitig dem Wasserkessel das zur späteren Dampfentwicklung nötige heiße Wasser infolge der Verflüchtigung des Dampfes in reichlicher Weise zugeführt. Der Natronkessel ist nun zum Betriebe fertig; er hat eine Temperatur von ca. 165° C. und kann bei geschlossenem Natronraum diese Temperatur während des Betriebes beibehalten werden. In diesem Falle ist der Druck im Wasserkessel dauernd 5 bis 6 Atmosphären, es bildet sich aber allmählich im Natronkessel ein Gegenruck, welcher um so größer wird, je mehr Wasser verdampft oder absorbiert wird.

Ein Beispiel möge diesen Vorgang erläutern.

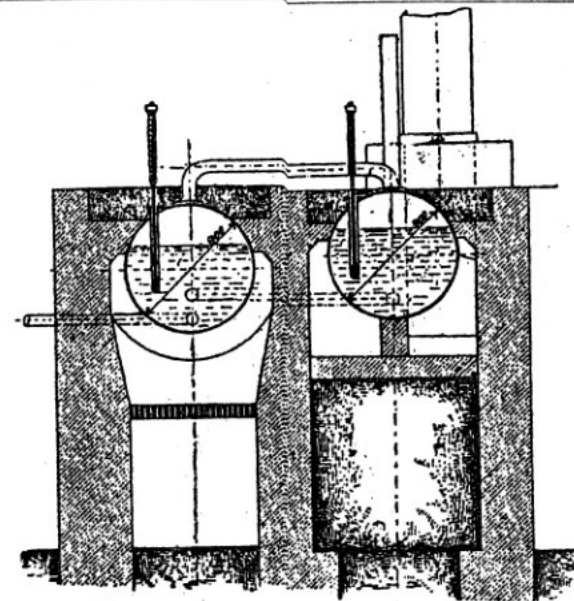
Angenommen, es sei eine Lokomotive an die Dampfleitung, wie oben beschrieben, angeschlossen gewesen und befinden sich infolge dessen im Natronkessel 1500 kg Natron von der Zusammensetzung 100 Natronhydrat auf 65 Wasser, so können diese 1500 kg Natron ca. 500 kg Dampf bei der Temperatur von 165° C. aufnehmen, bis der Gegenruck im Natronkessel auf etwa 1½ Atm. gestiegen ist. Die Maschine hat demnach 500 kg Dampf von 1 bis 6 Atm. Ueberdruck erhalten, wovon allmählich bis zu 1½ Atm. ansteigender Gegenruck abgezogen ist. Da der Gegenruck besonders im Anfang nur langsam wächst, so wird im Durchschnitt der nutzbare Arbeitsdruck der Maschine ca. 4½ bis 5½ Atm. betragen. Selbstverständlich kann man auch, anstatt mit 5 bis 6 Atm., mit geringerem Druck, etwa mit 3½ Atm. arbeiten und erhält dann anfangs keinen, gegen Ende einen Gegenruck von 1½ Atm. Die ganze Wartung der Lokomotive besteht in dem Anschluß an eine Dampfleitung vorhandener stationärer Dampfkessel.

Zum Schluß können noch als allgemeine Vortheile hervorgehoben werden: Ersparnis des Heizers, Wegfall von Kesselreparaturen, da kein Kesselstein aus dem Dampfwasser sich bilden kann, Winderverbrauch an Brennmaterial, da der während der Arbeitspausen vorhandene Ueberdruck an Dämpfen der stationären Dampfkessel zur Verwendung gelangen kann.

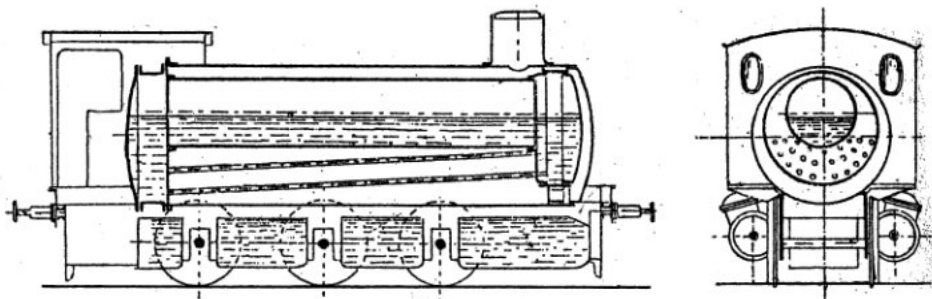
Wie bereits angeführt, sind die von Natron berührten Theile aus Kupfer hergestellt, das mittelst eines besondern Verfahrens unangreifbar gemacht ist. Wie nämlich sorgfältige Untersuchungen von B. Venator in Laßen ergeben haben, findet bei hohen Temperaturen und höheren Konzentrationsgraden der Lauge eine Einwirkung auf Kupfer statt, welche bei den Untersuchungen mit 50prozentiger Lauge von 150° C. Temperatur und während 72 Stunden durchschnittlich weniger als 1 Proz. Abnahme ergab. Bringt man jedoch zugleich Eisen in Natronlauge, so findet absolut keine Einwirkung auf das Kupfer statt, und nur das Eisen wird angegriffen.



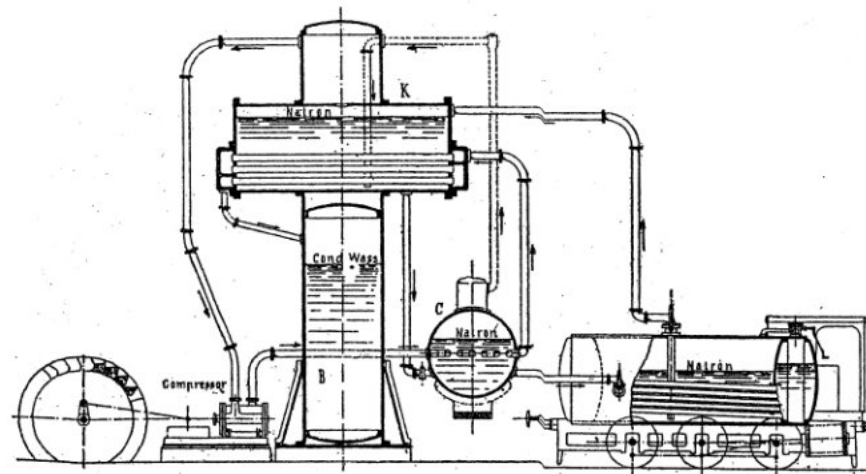
Figur 1: Trambahn-Natronlokomotive



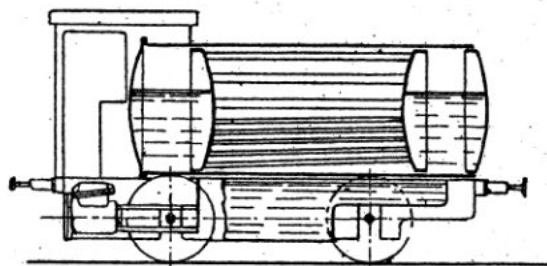
Figur 2: Eindampfstation für Natronlauge  
(mit direkter Feuerung)



Figur 4: Natronlokomotive der Aachen - Jülicher Eisenbahn  
(1885)



Figur 3: Eindampfstation für Natronlauge  
(verbesserte Station ohne direkte Feuerung)



Figur 5: Kleine Natronlokomotive (1885)

Tafel 2.4/25: Feuerlose Natronlokomotive  
(System M. Honigmann)



### 2.4.3 Straßenbahnen mit Druckluftantrieb

Selbständige Druckluftlokomotiven für Straßenbahnen und Trambahnen mit integriertem Antrieb durch komprimierte Luft sind in Deutschland über Versuchsfahrten und kurzzeitigen Einsatz im Probetrieb nicht hinausgekommen. Etwas anders war die Situation in anderen Industrienationen. Vor allem in den USA und in Frankreich fuhren „Pressluftlokomotiven“ einige Zeit im Liniendienst. In der nachfolgenden Tabelle ist der Stand der Druckluftlinien im Jahr 1900 wiedergegeben, die von der *Compagnie générale des Omnibus* in Paris betrieben worden sind.

Nr. in Fig. 12	Linie	Betriebslänge in km	Antriebsmittel (L=Lokomotive T=Treibwagen)	Zeitfolge der Züge in Minuten
1	Louvre-Point du Jour	St. Cloud	L	15
		Sèvres		15
		Versailles		60
2	Passy-Hôtel de Ville	6,48	T	16 bis 9 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>
3	Muette-Rue Taitbout	6,15	T	12 » 7
4	Auteuil-Boulogne	2,69	T	25 » 15
5	Montrouge-Ostbahnhof	6,82	T	6 » 3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>
6	Auteuil-Madeleine	7,41	T	15 » 10
	zusammen	59,00	{ davon 7 (Louvre-Point du Jour) doppelt gerechnet	

Bild 2.4.3/1: Straßenbahnlinien mit Druckluftbetrieb (Druckluftlinien) in Paris (1900)

Die wesentlichen Vorteile der im öffentlichen Personenverkehr betriebenen Bahnen waren deren feuerlos und auch dampfloser Betrieb. Es gab keine Probleme mit heißer Asche, Rauchbelästigungen und Funkenflug sowie plötzlicher Dampfaustritte. Bekannte Systeme mit dieser Antriebstechnik waren die von *Mékariski, Hughes und Lancaster, Beaumont, Hardie und Mein* sowie die Bauart *Popp-Conti*.

Druckluftbahnen und -lokomotiven wurden, je nach Prinzip der Entspannung der Druckluft, nach zwei Arbeitsprinzipien gebaut:

1. Maschinen nach dem Drosselprinzip
2. Maschinen nach dem Verbundprinzip

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal war die Größe des im Fahrzeug mitgeführten Energievorrats an komprimierter Luft. Man unterschied:

1. Maschinen, die den gesamten Energievorrat für einen oder mehrere komplette Fahrzyklen in einem Speicher mitführten.
2. Maschinen, die nur einen kleinen Energievorrat mitführten und an bestimmten (oder allen) Haltepunkten immer wieder aufgeladen werden mussten.

Einige ältere Typen von Druckluftlokomotiven sind in den nachfolgenden Bildern und in der Tafel 2.4.3/1 dargestellt.

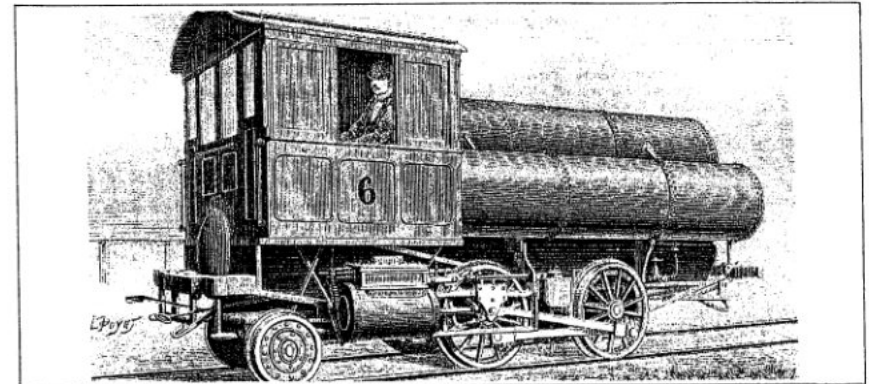


Bild 2.4.3/2: Frühe selbständige „Druckluftlokomotive“ (um 1874)

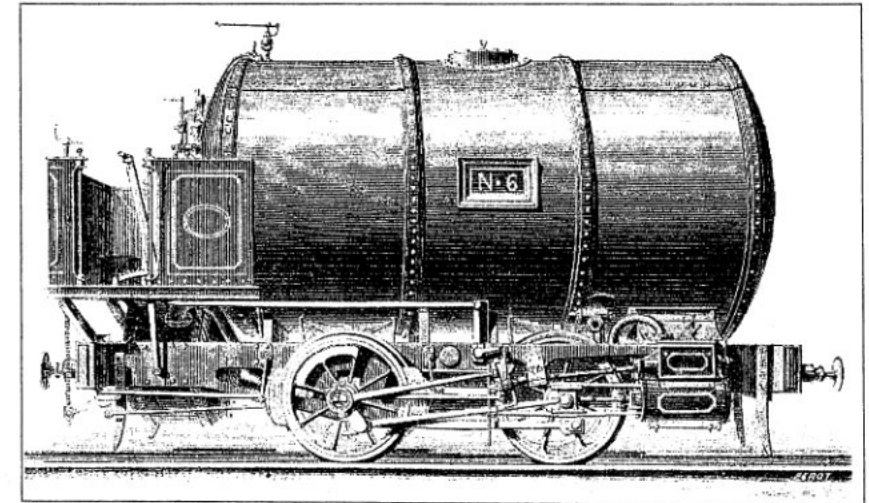


Bild 2.4.3/3: Selbständige Druckluftlokomotive für Lastentransporte im Bergbau (1892)

Bei Maschinen, die nach dem Drosselprinzip arbeiteten, wurden ein oder mehrere Druckbehälter auf dem Fahrzeug aus einer Leitungsanlage, die mit einem „Krafthaus“ verbunden war, oder direkt von einem Kompressor mit Druckluft versorgt. Als „Krafthäuser“ bezeichnete man die zentralen Großanlagen, in denen mit Hilfe von Dampfmaschinen und Kompressoren Druckluft in großem Stil produziert wurde. Die Drücke in den Speichern lagen am Anfang der Entwicklung um 1875 bei etwa 50 at. Um 1910 arbeitete man schon mit Drücken bis zu 150 at. Die Druckluft wurde vor dem Einströmen in die Zylinder über ein Drosselventil in einen Hilfsbehälter mit Arbeitsdruck geleitet. Das Drosselventil arbeitete selbsttätig und hielt den Arbeitsdruck unabhängig vom Fülldruck im Behälter. Der Arbeitsdruck lag bei 3 bis 9 in Ausnahmen bis 14 at. Die Zylinder wurden aus dem Hilfsbehälter versorgt. Das Vereisen am Schluss der Expansion wurde durch gut wärmeleitende Zylinder oder eine Zwischenwärmung der Luft vermieden. Die bekannten

Straßenbahnen von Mékarski aus Frankreich sind nach diesem Prinzip gebaut worden. In Deutschland stellte die Fa. Borsig in Berlin Druckluftlokomotiven her. Allerdings nicht für den Betrieb für Straßenbahnen. Es gab Druckluftlokomotiven nach dem Drosselprinzip auch mit Hoch und Niederdruckzylindern.

Beim diesem Verbundprinzip wurde die Expansion direkt aus dem Druckbehälter in zwei Zylindern vorgenommen, einem Hochdruckzylinder und einem Niederdruckzylinder. Im Hochdruckzylinder wurde beispielsweise von 80 at auf 10 at entspannt, im Niederdruckzylinder von 10 auf 1 at. Drosselverluste traten bei diesem Prinzip nicht auf. Aber zwischen Hochdruck- und Niederdruckzylinder musste stark zwischengeheizt werden um eine Vereisung zu verhindern. Das machte die Maschinen kompliziert und letztendlich auch unwirtschaftlich. Über Versuche sind diese Konstruktionen nicht hinaus gekommen.

Beim System nach Mékarski wurden mehrere Druckbehälter in der Straßenbahn mitgeführt, deren Kapazität für eine längere Strecke ausreichte. Die ab 1875/76 in Paris und Nantes eingesetzten Wagen führten 14 Druckbehälter mit sich. Sie waren in drei Gruppen mit je 1500, 300 und 200 l Volumen aufgeteilt. Das große Speichervolumen wurde im Linienbetrieb genutzt, die beiden anderen dienten für Notfälle als Reserve. Der Druck in den Behältern lag bei beachtlichen 60 bis 80 at. Die Antriebsmaschine arbeitete mit einem Druck von 3 bis 8 at. Das Problem des Vereisens beim Entspannen der Luft wurde durch einen Behälter mit heißem Wasser gelöst, der die Abkühlung der Luft unter 0°C verhinderte und die Luft vor dem Eintritt in die Zylinder anfeuchtete. Die Wagen konnten bis zu 20 km ohne Nachfüllung fahren. Durch die Druckbehälter war das Gewicht der Fahrzeuge sehr hoch. Es lag bei 7 Tonnen. Ein Wagen bot Platz für 30 Personen. Das Nachfüllen an einer Ladestation dauert 15 – 30 Minuten. Angeboten wurden zwei Ausführungen von Fahrzeugen nach diesem System. Zum einen ein im Fahrzeug integrierter Antrieb und zum anderen eine Lokomotive als Zugmaschine für beliebige Wagen. Nach dem System Mékarski wurden auch große Doppelstock-Straßenbahnen gebaut. Ein 1887 die Linie Vincennes – Ville-Evrard befahrender Wagen hatte im Motorwagen wie im Anhängewagen 21 Innenplätze, 24 Decksitzplätze und 6 Stehplätze.

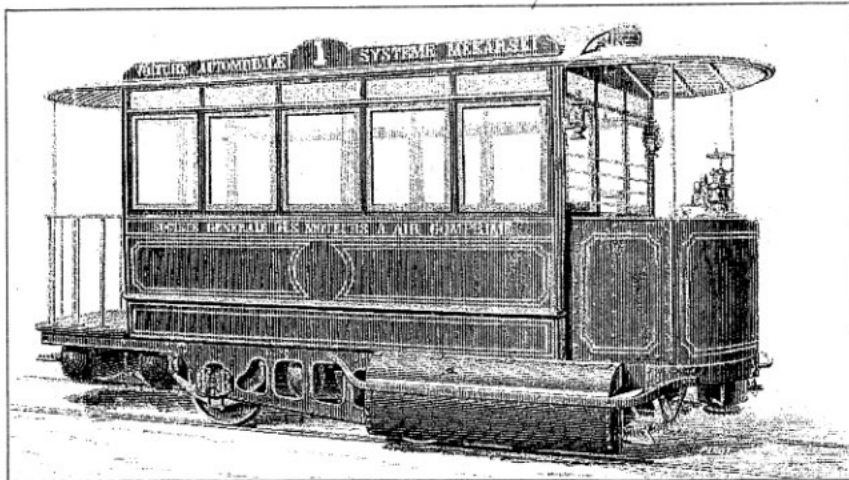
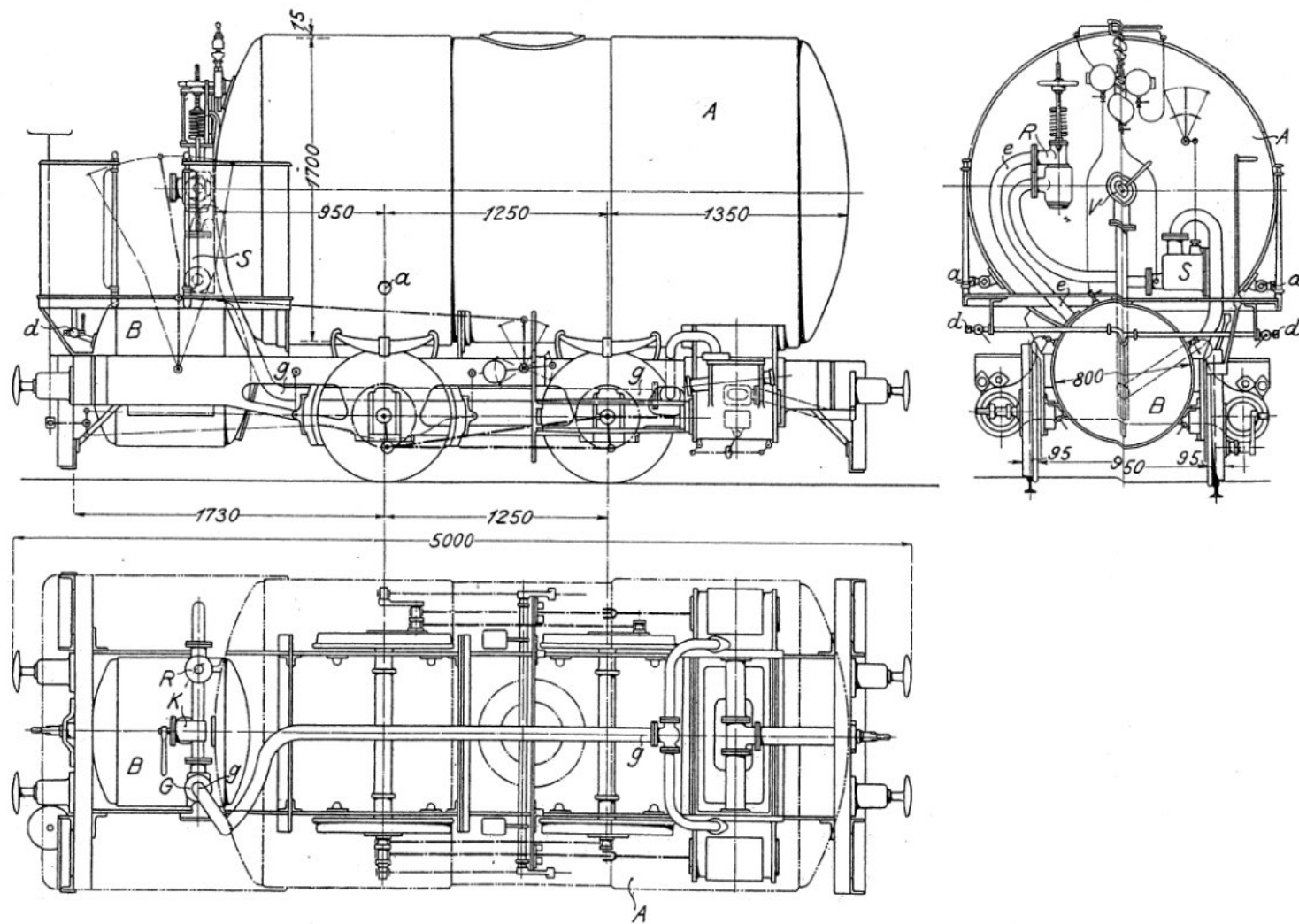
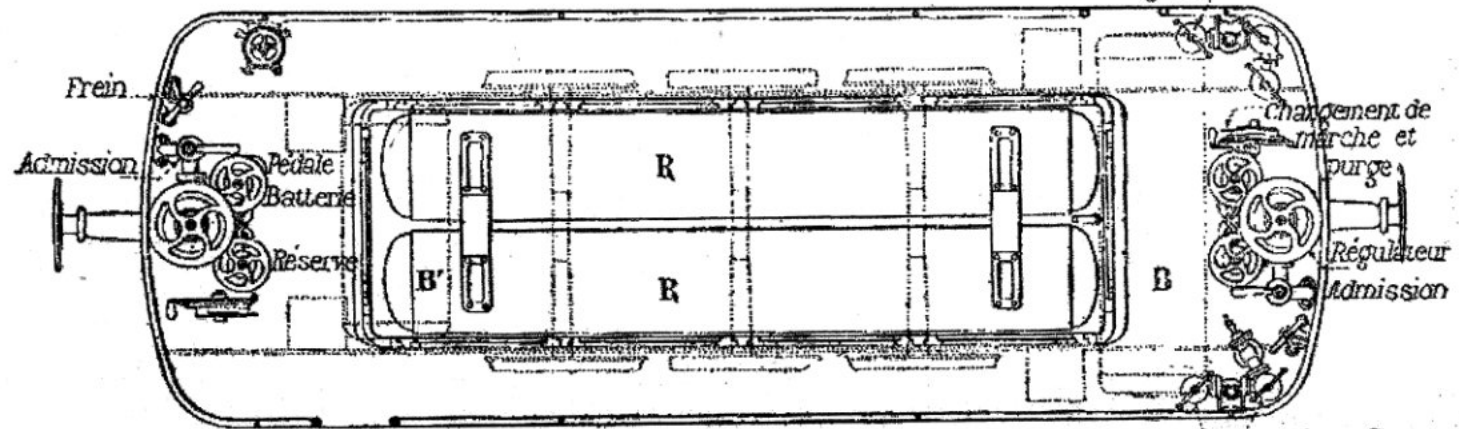
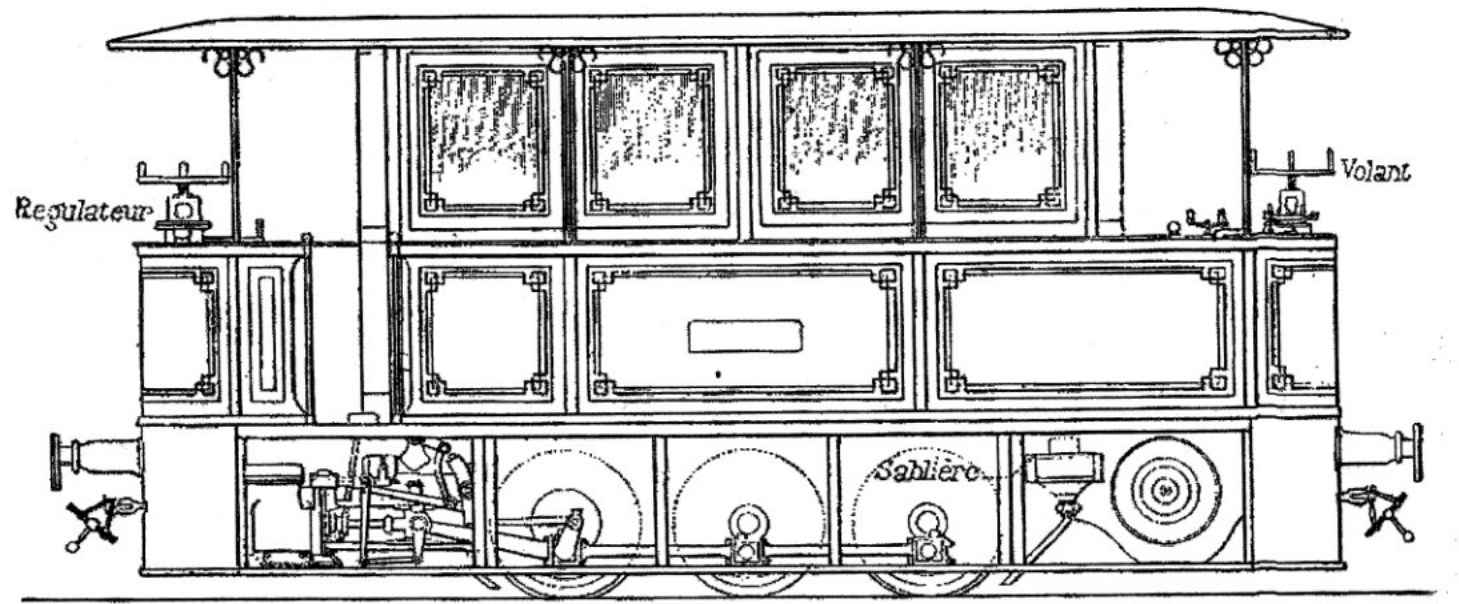


Bild 2.4.3/4: Straßenbahn mit integriertem Druckluftantrieb System Mékarski (1876)

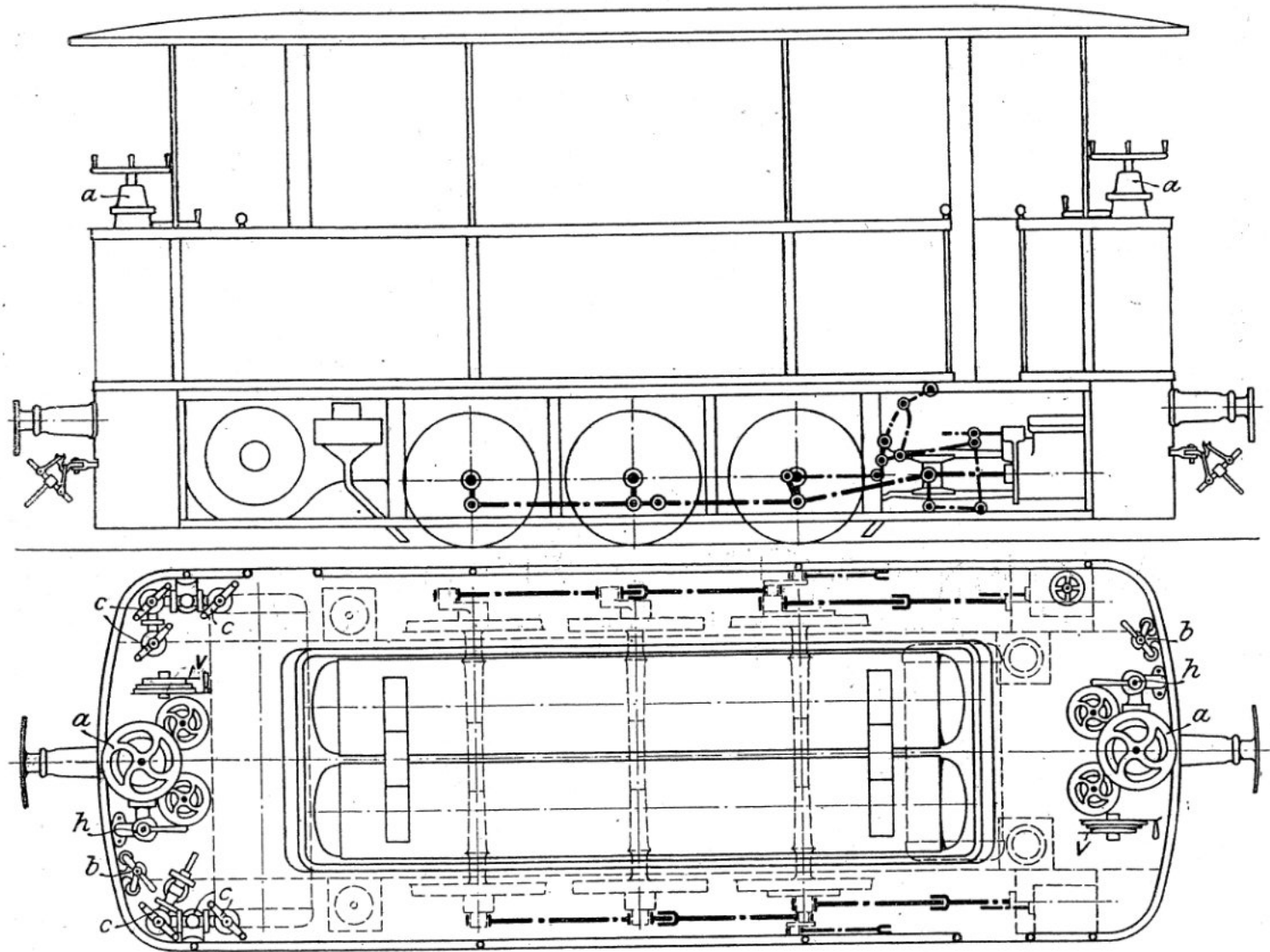


Tafel 2.4.3/1: Selbständige Druckluftlokomotive für den Lastentransport (1882)  
 Hersteller: Mékarski und Schneider & Co, Paris

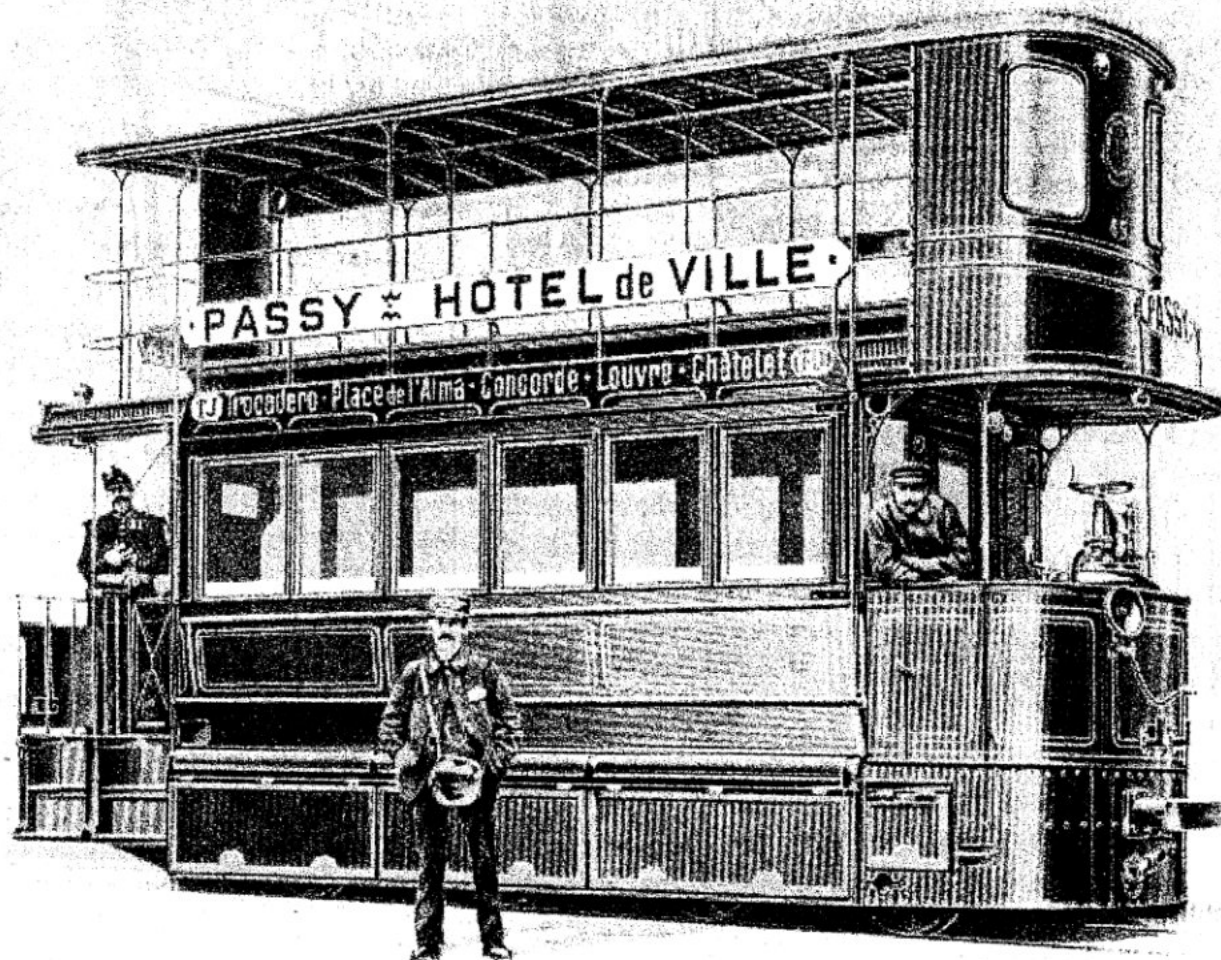


Tafel 2.4.3/2: Kleine französische Straßenbahn mit Druckluftantrieb  
 Darstellung der wichtigsten Bedienelemente  
 System Mékarski (um 1890)





Tafel 2.4.3/3: Kleine französische Straßenbahn mit Druckluftantrieb  
 Darstellung des technischen Aufbaus  
 System Mékarski (um 1890)



Tafel 2.4.3/4: Doppelstockstraßenbahn mit Druckluftantrieb in Paris (1901)  
System Mékarski

Trotz aller technischen Fortschritte war das Problem der geringen Speicherkapazität der Druckbehälter nicht zu lösen. Einige Hersteller versuchten daher mit kleineren Speichern und geringeren Drücken auszukommen, dafür mit Hilfe sinnvoller Einrichtungen häufiger die Speicher zu füllen. Die Wagen nach dem System Hughes und Lancaster arbeiteten mit Druckbehältern von nur 1,4 m<sup>3</sup> Inhalt und einem Speicherdruck von 11 at. Zum Nachfüllen des Druckbehälters war unter dem Gleis eine Druckleitung mit Entnahmestellen verlegt. Die Entnahmestellen lagen nur etwa 1600 Meter auseinander. Das Befüllen ging relativ schnell vonstatten. Haltezeiten beim Aus- und Einsteigen konnten dafür genutzt werden. Etwas weiter mit einer Füllung konnte mit den Wagen des Systems Popp-Conti gefahren werden. In Paris waren einige Fahrzeuge im Einsatz. Der Druck in den Speicherbehältern lag bei etwa 30 at. Das reichte für eine Fahrstrecke von 2 – 3 km. Bei diesem System erfolgte die Nachfüllung selbsttätig. Auch hier war eine Druckleitung im Gleis notwendig. In den Rillen der Schienen waren in entsprechendem Abstand Hebel eingebaut, die von den Rädern beim Halten betätigt wurden und einen Koppelmechanismus auslösten, der die Verbindung zwischen Druckleitung und Wagen herstellte. Das Füllen des Behälters soll nur einige Sekunden gedauert haben.

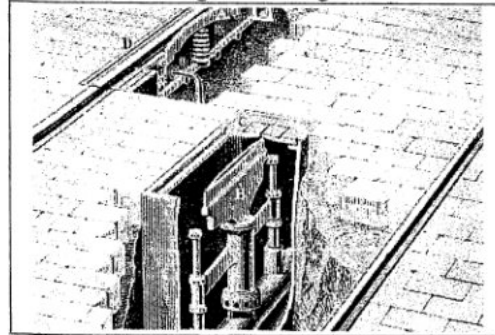


Bild 2.4.3/5:  
Druckluft-Nachfüllstelle  
Bei Streckenbahnen  
Mit integriertem  
Druckluftantrieb nach dem  
System Popp-Conti

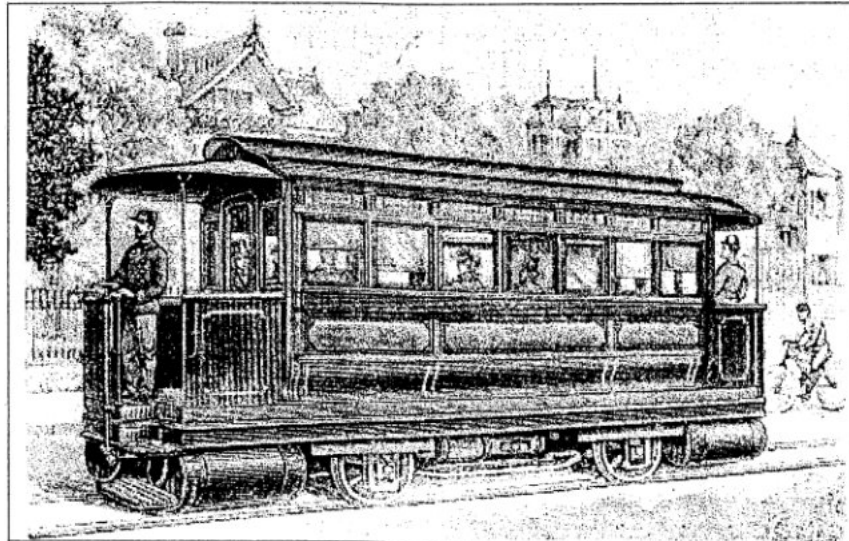


Bild 2.4.3/6: Straßenbahn mit integriertem Druckluftantrieb System Popp-Conti (1886)

Bekannte Hersteller von Druckluftlokomotiven waren Porter, Baldwin, Hardie, Schneider & Co und hiezulande Schwartzkopf und, wie erwähnt, Borsig.

Das System der Straßenbahnen mit Druckluftantrieb war insgesamt sehr aufwendig und zu teuer. Während beim feuerlosen Dampfantrieb noch ein herkömmlicher Kessel zum Auffüllen des Speichers reichte, benötigte der Betrieb mit komprimierter Luft eine aufwendige Dampfmaschine mit Kompressor an den Füllstationen (Krafthäusern). Weiterhin war die speicherbare Energiemenge trotz der nach 1900 sicher beherrschten, beachtlichen Speicherdrücke für einen wirtschaftlichen Betrieb zu gering.

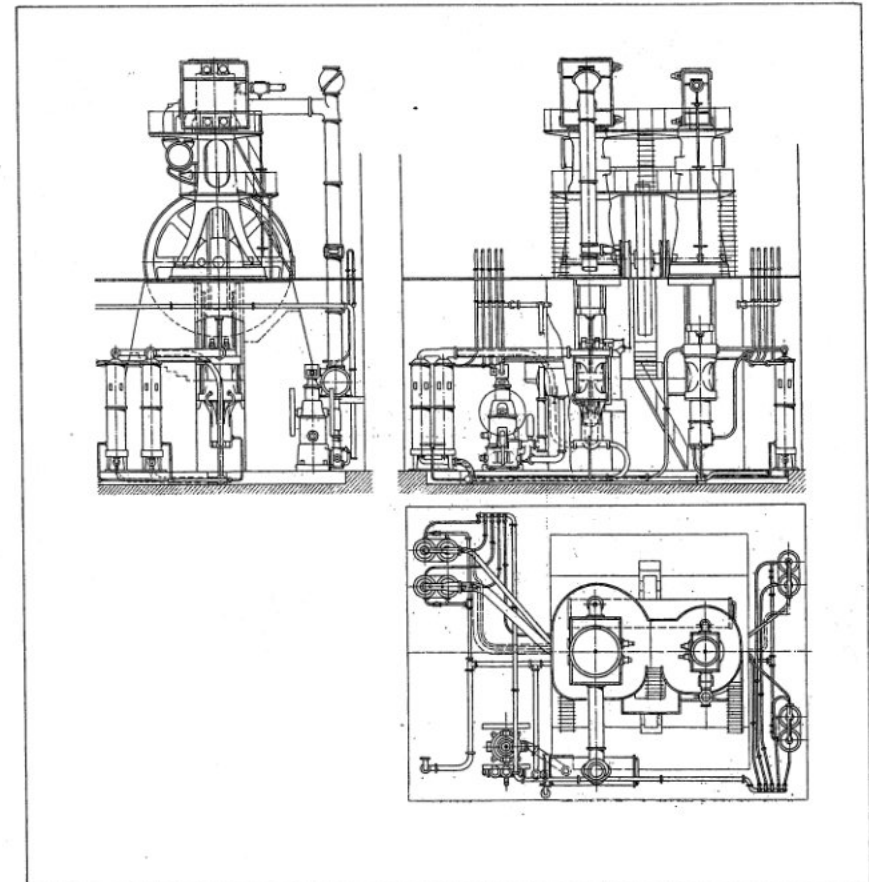
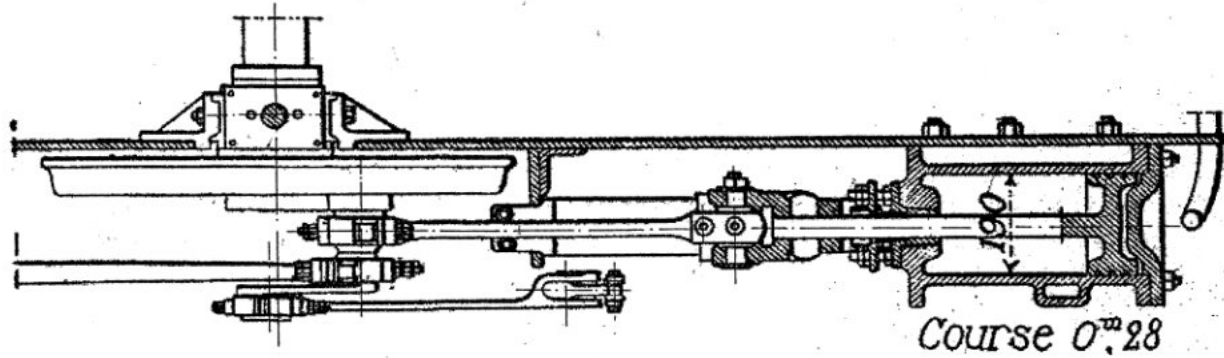
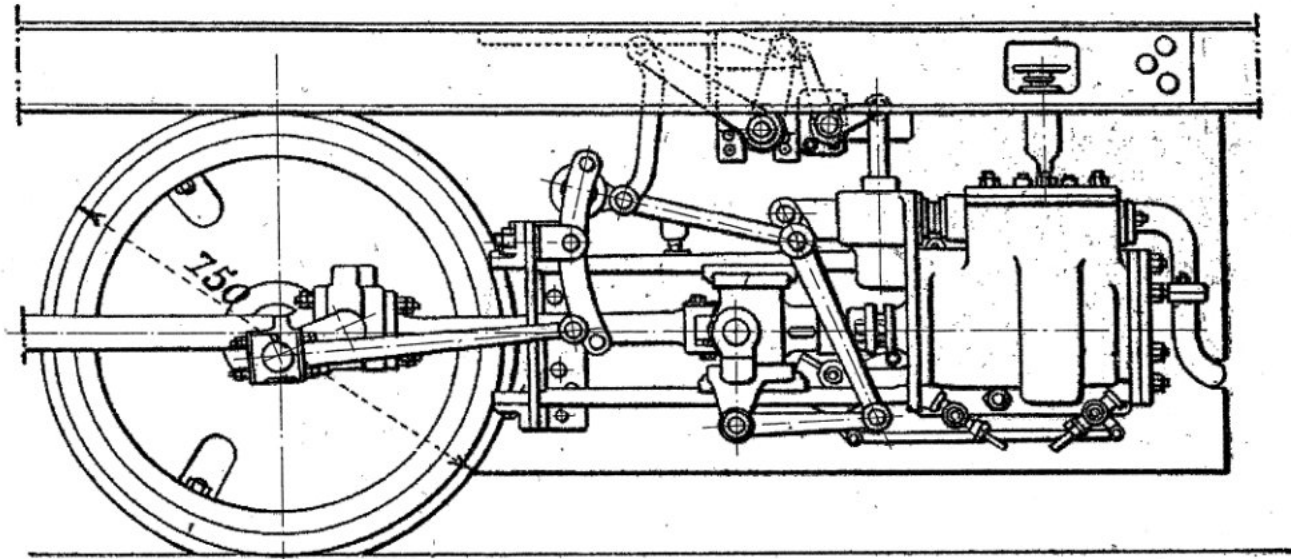


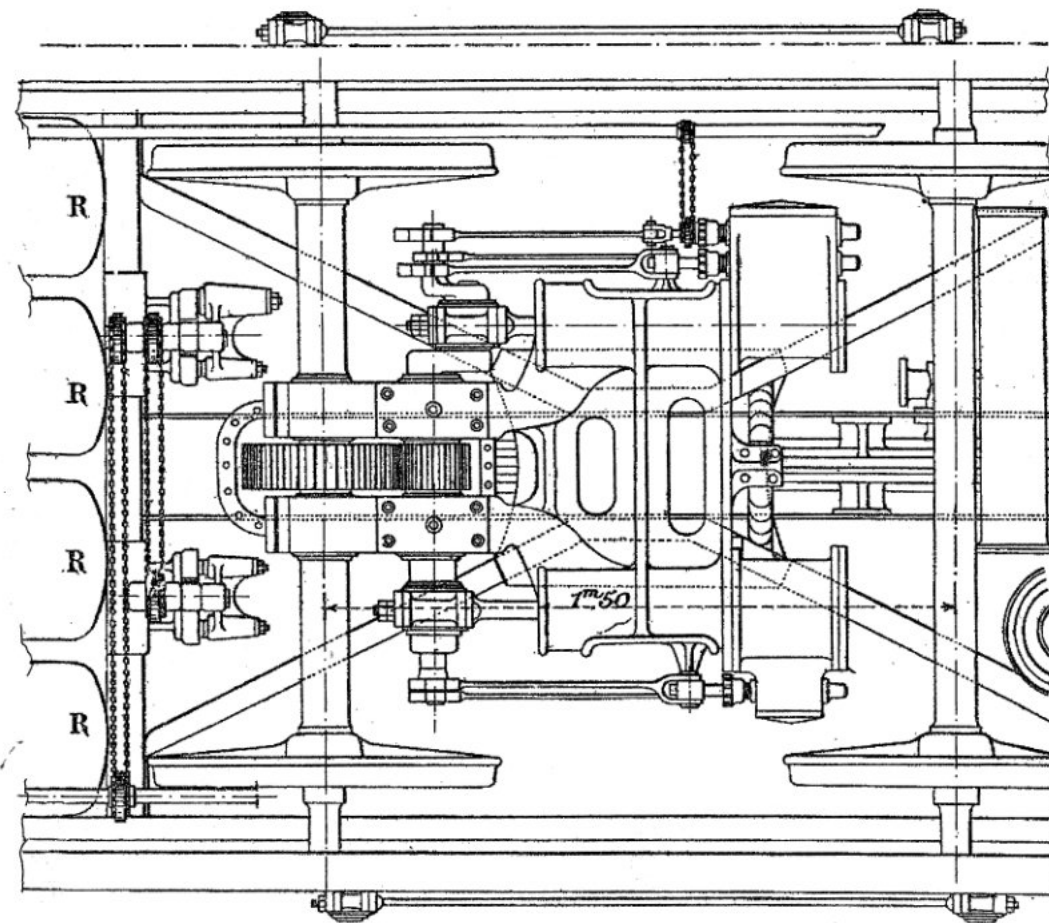
Bild 2.4.3/7: Groß-Dampfanlage zur Erzeugung von Druckluft (1902)  
Verbundmaschine von 1000 PS mit Luftpumpe von Edw. Allis & Co

Druckluftlokomotiven haben in Deutschland nur in besonders explosionsgefährdeten Bereichen eine gewisse Bedeutung erlangt.



Tafel 2.4.3/5: Antriebsmaschine der Straßenbahn, System Mékarski





Tafel 2.4.3/6: Antriebsmaschine einer Straßenbahn  
mit Druckluftantrieb System Popp-Conti

**Bemerkung:**

Der Phantasie der Erfinder waren im 19. Jahrhundert bei der Nutzung der „Druckluft“ zur Personenbeförderung keine Grenzen gesetzt. In Anlehnung an das Funktionsprinzip der „pneumatischen Rohrpost“, die damals ihren Siegeszug bei der Beförderung postalischer Sendungen angetreten hatte, schlugen einige Erfinder vor, die Nutzung des Rohrpostprinzips auch zur Beförderung von Personen anzuwenden. In London wurde 1865 eine kurze Versuchsstrecke gebaut. Die einzelnen Wagen liefen auf Schienen. Der Wagenquerschnitt füllte das „Rohr“ fast vollständig aus. Geringe Druckdifferenzen reichten aus, um den Wagen vorwärts bzw. rückwärts zu treiben. Das nachstehende Bild zeigt den Herzog von Buckingham bei einer Probefahrt.



Bild 2.4.3/8: Rohrpostbahn in London (1865)

**Bemerkung:**

Selbständige Druckluftlokomotiven gab es aber nicht nur als kleine Maschinen für die Anwendung auf kurzen Strecken oder für leichte Transportaufgaben. Sie wurden, insbesondere in Frankreich und den USA, auch in größeren Ausführungen gebaut. Die nachfolgenden Bilder zeigen beispielhaft zwei Ausführungen, eine aus Frankreich von Hardie und eine andere Konstruktion aus den USA. Die große Druckluftlokomotive von Dickson Locomotive Works (USA) wurde für den Transport in Kohlebergwerken für die Delaware and Hudson Canal Co. gebaut. Die 3/3-gekuppelte Lokomotive besaß zwei große Druckbehälter. Mit 760 mm Innendurchmesser und Längen von 6 Meter bzw. 5,1 Meter. Der Druck lag bei 42,5 at Überdruck.

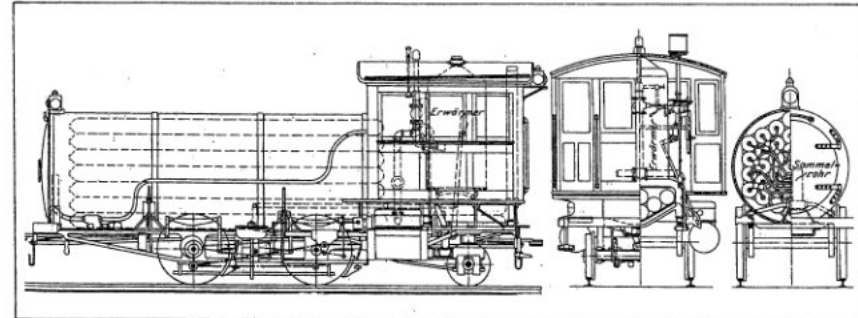


Bild 2.4.3/9: Druckluftlokomotive von Hardie (um 1902)

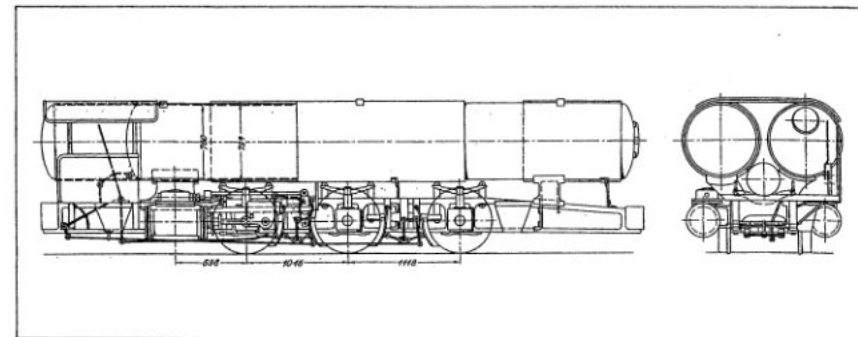


Bild 2.4.3/10: Große Druckluftlokomotive von Dickson Locomotive Works (1906)