Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 83/84 (1924)

Heft: 5

Artikel: Fortschritte der Rohrpost-Technik, insbesondere bei der Stadtrohrpost München

Autor: Schwaighofer, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-82735

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 17.07.2025

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

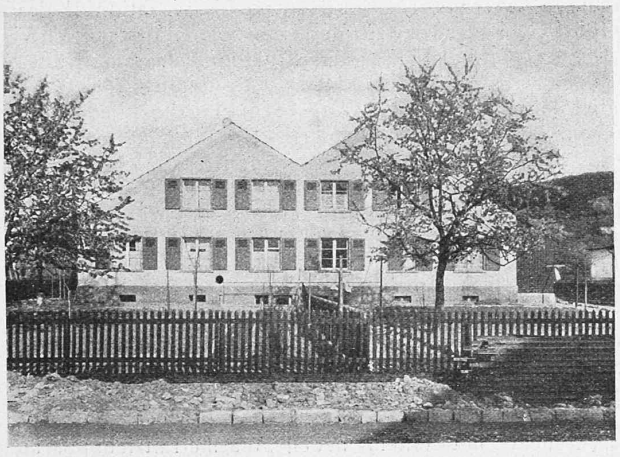


Abb. 14. Vierzimmerhäuser Typ D an der Morystrasse.

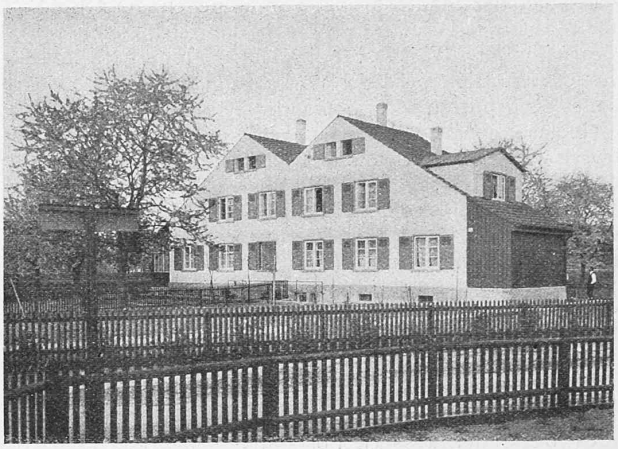
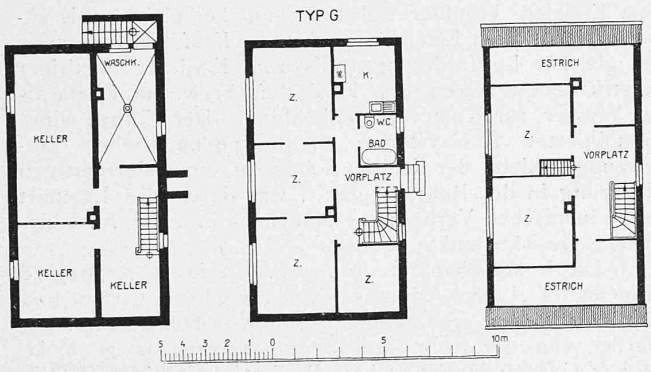


Abb. 15. Fünfzimmerhäuser Typ E am Vierjuchartenweg.



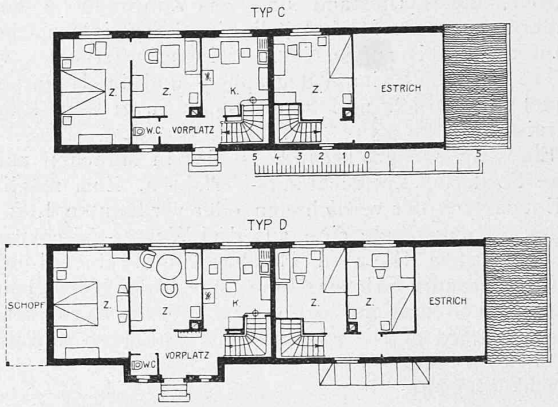


Abb. 13. Sechszimmerhaus Typ G. — Masstab aller Grundrisse 1 : 300. — Abb. 10 Dreizimmerhaus Typ C; Abb. 11 Vierzimmerhaus Typ D.

Die Umfassungsmauern bestehen bei den kleineren Typen aus Backstein-Hohlmauerwerk, alle Häuschen besitzen nur eine einzige Balkenlage und keine Tragwände im Innern, im Obergeschoss (Kniestock) befinden sich nur untergeordnete Schlafräume.

Aesthetisch gehört diese Siedelung jedenfalls zu den bestgelungenen, nicht nur auf Schweizerboden. *P. M.*

Fortschritte der Rohrpost-Technik,
insbesondere bei der Stadtrohrpost München.

Von Prof. Dr. Ing. *H. Schwaighofer* in München.

Seit fast sechs Jahrzehnten bestehen grössere Rohrpost-Anlagen des Stadtverkehrs und im Innenbetrieb umfangreicher Gebäude. Aber wohl auf keinem Gebiet der Technik sind im Verlaufe einer sehr langen Zeit bis vor kurzem so wenig Fortschritte gemacht worden, wie gerade in bezug auf das Rohrpostwesen. Man war früher damit zufrieden, wenn eine pneumatische Post überhaupt gebaut werden konnte, und man hat es den wenigen Firmen, die solche Anlagen lieferten, meist überlassen, diejenigen Anordnungen, insbesondere hinsichtlich der Antriebsmaschinen und Apparate zu treffen, die sie allgemein zu bauen gewohnt waren. Demgegenüber lassen die modernen Rohrposten betriebliche Individualisierungen in der Apparatur und in der Maschinentechnik erkennen. Fachliches Interesse bieten in dieser Hinsicht ausser der nachfolgend ausführlich besprochenen pneumatischen Anlage von München u. a. die Stadtrohrpost von Berlin mit einer ganz neuzeitlichen Durchbildung der Maschinentechnik und ihren für den Treibluftverbrauch sehr ökonomisch arbeitenden Rohrpostapparaten automatischer Fördermittel-Abstellung, ferner die Stadtrohrposten von Bremen, Frankfurt a. M., London, Rom, Mailand und Neapel, ausgerüstet mit Empfängerstationen vollständig selbsttätiger Wirkungsweise, ausserdem die Briefbeutelrohrposten in New York, Chicago, Boston, Philadelphia, St. Louis usw., deren ferngesteuerte Transitapparate und Rohrweichensysteme die Verkehrsabwicklung zu beschleunigen und zu erleichtern suchen.

Beachtenswert ist, dass der konstruktive Ausbau der Luftrohrpost hintangehalten wurde durch das, die jetzige Technik kennzeichnende Elektrifikationsbestreben, das zu zahlreichen, zunächst noch mehr oder minder vergeblichen Versuchen führte, eine brauchbare, elektrisch betriebene Rohrpost ausfindig zu machen. Anderseits hat gerade die Elektrotechnik die Bauweise der Stadtrohrposten sehr günstig beeinflusst, teils durch die Vorteile elektrischen Antriebes der Gebläse und der Maschinenautomatik (durch Fernsteuerungen usw., vielfach in Verbindung mit der Schwachstromtechnik des Rohrpostsignalwesens), teils durch die selbsttätige Wirkungsweise von Empfangs- und Sendeapparaten mit Elektromotorgetriebe. Die im letzten Jahrzehnt errungenen Fortschritte auf allen Gebieten der Rohrpost-Technik werden zweifellos auch für deren Weiterentwicklung grundlegend sein.

Im nachstehenden werden die hauptsächlichsten Neuerungen der Stadtrohrpost München als ein Beispiel neuzeitlicher Entwicklung von Technik und Betrieb pneumatischer Beförderungsanlagen erörtert. Das Netz besteht zur Zeit aus fünf Kreislinien und aus vier Radialstrecken; ein weiterer Kreisbetriebsanschluss ist z. Z. in Vorbereitung. Das Netz enthält jetzt 41,5 km Fahrrohre von 65 mm Innendurchmesser, wovon rd. 35 km gegenwärtig in Betrieb stehen, ferner 1,44 km Luftzuführungsleitungen von gleichem Durchmesser. Die Münchener Stadtrohrpost besitzt 25 Rohrpostämter (mit 28 pneumatischen Anstalten) und verfügt über 53 Rohrpostapparate. Gegenwärtig stehen in München acht elektrische Rohrpost-Kraftstationen (von 10 bis 220 PS) in Verwendung, die im wesentlichen nur Vakuum erzeugen;

es ist also bei der Stadtrohrpost von München der Grundsatz der Maschinen-Dezentralisation in betriebsökonomisch sehr vorteilhafter Weise verwirklicht.[1]) Innerhalb der einzelnen Kraftstationen ist die Vorkehrung getroffen, dass fast jede Rohrpoststrecke gesonderte Kraftluftspeisung durch Gebläse erhält, die jeder Linie eigens angepasst ist (Grosse wirtschaftliche und betriebstechnische Vorteile).

Rohrposttechnisch bieten besonderes Interesse die bei den Rohrpostanlagen in München in den meisten Maschinenstationen für den Fernverkehr verwendeten Rotationsgebläse von *Wittig* (Zell im Wiesental, Baden), Spezialkapselwerke mit sichelförmigem, vielzelligem Stahlschieber-Arbeitsraum.[2]) Die geräuschlose, erschütterungsfreie und betriebsichere Wirkungsweise der Wittig-Maschinen sowie deren Gewichts- und Raumökonomie gestatteten ohne weiteres das Unterbringen der Kraftstationen in den Kellerräumlichkeiten des Telegraphen- und des Hauptpost-Gebäudes bezw. der äussern Postämter. Weil das Füllen und Entleeren der Arbeitszellen in rascher Folge stattfindet, entsteht beim Wittig-Gebläse ein praktisch gleichförmiger Luftstrom; dieser Umstand und das Zuordnen je eines besonderen Gebläses für fast jede Einzel-Fahrlinie machten alle Luftkessel (bis auf je einen kleinen Pufferkessel, von je rd. 12 m³ Inhalt, im Telegraphen- und im Hauptpostgebäude) entbehrlich und führte somit zu grossen Raum-Ersparnissen.

Eine eigenartige Technik ist das in München angeordnete Förderluft-Entfeuchtungs-Verfahren. Zum möglichsten Entwässern der verdichteten oder verdünnten Luft ist im Telegraphengebäude eine aus drei Wasser-Gegenstrom-Kühlern (System Dietz in Hamburg) und einer Linde'schen Kohlensäure-Kältemaschine (Wiesbaden) bestehende Kühlanlage von maximal 40 000 kcal/h bezw. 12 500 kcal/h vorgesehen worden. Die fraglichen Einrichtungen sind nach dem Prinzip der Luftnachkühlung gebaut und liefern einen praktisch wasser- bezw. eisfreien Rohrpost-Betrieb nicht nur für die vom Telegraphenamt abzweigenden Wendebetriebstrekken, sondern auch für die auf Dauerströmung geschalteten Fahrrohre des Netzes. Die Wasserkühl-Systeme entfeuchten die Förderluft bis nahezu Kühlwasserzuflusstemperatur, die im Winter allenfalls zusätzlich eingeschaltete Kältemaschine bis zu dem unter Umständen noch tieferen Bodenwärmegrad. In den äussern Maschinenstationen erfolgt die Luftansaugung entweder über Wasserkühler und sogen. Erdkühlschlangen, diese insbesondere aus dem Rohrnetz der Telephonkabelanlage Münchens bestehend, oder über Wasserkühler und ausserdem bedarfsweise über kältemaschinelle Systeme. In der Rohrpost-Kraftstation II des Hauptpost-Gebäudes bezw. in den Rohrpost-Kraftstationen V (Postamt 23) und VI (Postamt 8) sind Ammoniak-Kältemaschinen von 2800 kcal/h bezw. je 2400 kcal/h der „Alpinen Maschinen A.-G." (Augsburg) eingebaut, ebenfalls in Verbindung mit Wasserkühlern. Bei allen kältemaschinellen Anlagen ist ein Entfeuchten und Abkühlen der gesamten, in den betreffenden Kraftstationen erzeugten Förderluft (überwiegend Vakuum) bis auf — 4° C erreichbar. Die in den Rohrpost-Kraftstationen III und IV (Postamt 18 und 31) bezw. VII und VIII (Postamt 50 und 19) allein aufgestellten Wasserkühler (ausschliesslich für Wendebetriebstrecken) sind für je 4000 kcal/h bezw. je 2000 kcal/h berechnet. Nachdem alle Wasserkühlerspeisungen überwiegend mit der Kühlwasserversorgung für die Luftpumpen verbunden sind, entfallen wesentliche Sonderkosten für den Wasserbedarf zur Förderluftentfeuchtung. Gegenwärtig sind Versuche mit einem neuen Wärme-Entziehapparat unter Drosselung des Luftstromes bei dessen weitgehender Unterteilung (System enger Kupferrohr-Anordnungen unter dem Druckventil, Patent Metzger-Lütschen) im Gange, teils zum Erzielen erhöhter Luftförderung bei gleichem Kraftbedarf bezw. zum Erreichen geringerer Kraftbeanspruchung bei gleicher Luftförderung, teils zum Erwirken niedriger Austrittstemperaturen der Förderluft bezw. zur Ersparnis an Wasser zur Kompressorenkühlung. Der Einbau eines kombinierten Kühlsystemes für die pneumatischen Versorgungsgebiete, der Kreislaufschaltung, einer einzigartigen Neuerung in der Rohrpostpraxis, war durch die Eigenart der klimatischen Verhältnisse Münchens und durch ökonomische Gesichtspunkte bedingt.

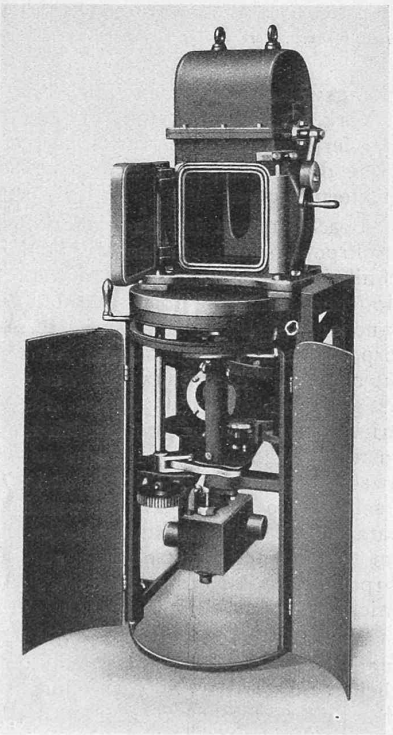


Abb. 1. Rohrpost-Apparat für Handbetrieb der Stadtrohrpost München.

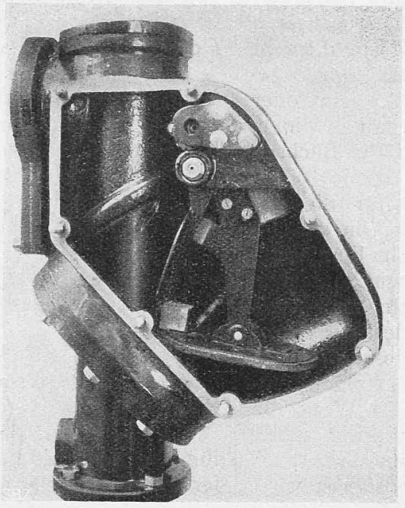
Die in München für die *Fernanlage* im Jahre 1915/16 eingebauten Linien-Anfangs- und Zwischenapparate sind im wesentlichen von einheitlicher Konstruktionsart; sie wurden von der Rohr- und Seilpostanlagen G. m. b. H. (Mix & Genest) in Schöneberg-Berlin geliefert, der für die gesamte Rohrposteinrichtung die Ausführung oblag. Diese Apparate sind gleichartig durchgebildet, d. h. es besteht kein Unterschied je nach der Betriebsart (ob für kontinuierliche Luftströmungen oder für Pendelverkehr). Ausser den vorerwähnten Apparaten sind neuerdings noch solche für den *halbautomatischen* und für den *vollautomatischen* Büchsen-Empfang in Verwendung genommen worden.

Die Universal-(Multiplex- oder Simultan)-Apparate, in den Abbildungen 1 bis 4 dargestellt, sind grundsätzlich für Büchsen-*Einzel*versand bestimmt. Sie weichen innerhalb ihres Typ nur durch die Art besonderer Zusätze voneinander ab, d. h. je nachdem sogenannte Luftschalthähne oder Weichen in Gebrauch treten oder nicht (Linien-Anfangs- bezw. Zwischenstellenapparate). Als besondere apparatentechnische Neuerung ist die beliebige Verwendbarkeit aller vorbezeichneten Universal-Apparate für den Kreis- *und* für den Wendebetrieb hervorzuheben; der Einbau von Fahrrohr-Ueberbrückungen in die Apparatenkammern nach Abbildung 1 in Form drehbarer Hornbogen (mit Handbetätigung), bezw. von Rohrweichen bei den vollautomatischen Apparaten (Abb. 2 bis 4), ist bei allen Zwischenstellen durchgeführt. Die zeitliche Inanspruchnahme der Büchsen-Entnahme (nach Eintreffen des Ankunftsignals) beträgt bei den Münchener Apparaten für reinen Handbetrieb bezw. für halbautomatischen Betrieb rund drei Sekunden, die Dauer der Weichenbetätigung rund zwei Sekunden. Der im Münchner Postamt II eingebaute Universal-Apparat für *halbautomatischen* Betrieb entspricht in seiner Konstruktion im wesentlichen dem in Abbildung 1 dargestellten Apparat für reinen Handbetrieb, jedoch wird hierbei die Hebelbetätigung von Hand durch einen elektrischen Kontaktschluss für Elektromotorantrieb ersetzt. Im Postamt 19 und in der telephonamtlichen Zweigdienststelle der Münchner Börse wurden im Jahre 1923 Rohrpostapparate mit *automatischem Büchsen-Auswurf* angeordnet, ohne jedweden Elektromotorantrieb (Abbildungen 2 bis 4). In Betriebschaltung streicht die Förderluft bei allen Münchener Universal-Apparaten *reiner Handbetätigung*,

[1]) Vergl: Dr. *H. Schwaighofer*: «Rohrpost-Fernanlagen». München 1916 (Verlag von Piloty & Loehle).

[2]) Für die Schweiz, Frankreich, Belgien, Grossbritannien und Italien werden diese Gebläse von der Schweizer. Lokomotivfabrik Winterthur gebaut.

bezw. halbautomatischer Wirkungsweise (Abb. 1), geschlossene Apparatkammer vorausgesetzt, von dem einen, in die Rohrpost-Station einmündenden Fahrrohr bezw. von der Gebläseanschluss-Einmündung über diese Apparatkammer zur Fahrleitung des zweiten Apparat-Rohranschlusses. Das im Benützungsfalle durch Horizontaldrehen des Hauptbetriebshebels eingeleitete Oeffnen des Apparates bewirkt hierfür die pneumatische Abtrennung der Apparatkammer von der Betriebsluft, durch Einsetzen eines Brillenschiebers in die Leitungen des Treibluftanschlusses bezw. der Fahrrohr-Einführungen. Das zum ungehinderten Weiterfliessen des Luftstromes erforderliche Umleiten der Förderluft wird gleichzeitig mit einem Apparatüberbrückungsbogen herbeigeführt, und zwar durch automatisches Oeffnen der Absperrklappen im Umführungs-Gehäuse. Jenes Schiebereinschalten in die Fahrleitungen erzeugt hierin überdies einen, zeitweise das Einfahrtsabdrängen nachfolgender Rohrpost-Patronen bewerkstelligenden Luftpuffer. Von der gleichen Triebwerkachse, die zum Betätigen der Schieber- und Umführungs-Organe dient, wird nach Vollzug vorbezeichneter Arbeitsvorgänge durch Weiterbewegen des Betriebs-Haupthebels zunächst der Spannungsausgleich zwischen der Förderluft der Apparatkammer und der freien Atmosphäre hergestellt. Zu diesem Zweck vereinigt sich das Luftausgleichsrohr mit der Ventil-Kammer, die nunmehr geöffnet ist. Hierauf wird das Entriegeln und schliesslich noch das Aufklappen der Apparatkammertüre im dritten bezw. vierten Arbeitsvorgang der Betriebshebeldrehung bewirkt. Nach dem Dargelegten vollziehen sich *vier* Arbeitsvorgänge mit *einer* Hebeldrehung (um rund 90 °). Das allfällige Einrücken der Apparatweiche lässt beim Münchener Universal-Apparat die Förderluftströmung über diese statt über die Apparatkammer leiten.



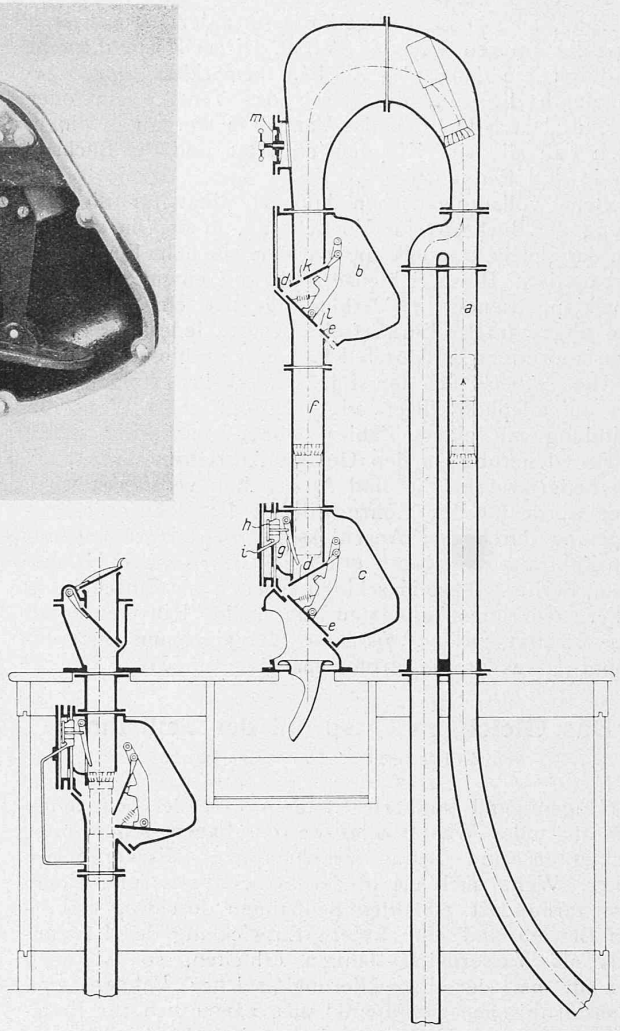


Abb. 3 und 4. Vollautomatischer Apparat der Stadtrohrpost München. Schema des Apparats (Masstab etwa 1 : 17) und Schnitt durch Schleusenkammer.

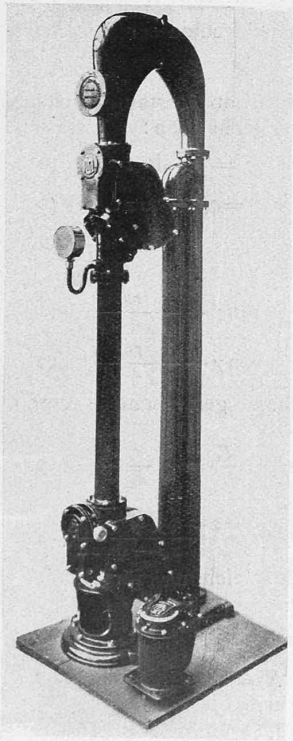


Abb. 2. Rohrpost-Apparat für vollautomatischen Betrieb.

Charakteristisch für die *vollautomatischen Rohrpost-Apparate* Münchens ist die Anordnung zweier Schleusenklappenkammern b und c (Abbildung 4) im Anschluss an das Fahrrohr a (mit Umführungsleitung) bezw. den obersten Uebergangsbogen des Apparates. Die Schleusenvorrichtung b, von der das luftdichte Auswerfen der Büchse eingeleitet wird, besitzt eine das Büchsen-Einfahrrohr abschliessende Saugluftklappe d und eine Druckluftklappe e. Diese sperrt die zur zweiten Schleuse, bezw. bei dieser zweiten Schleuse die ins Freie führende Oeffnung ab. Bei Saugluftbetrieb, wie dies in München der Fall ist, wird die Klappe d der untern Schleuse c durch den äussern Luftdruck angepresst; die Klappen d und e der obern Schleuse b sind somit entlastet. Eine ankommende Büchse gleitet durch die Leitung a in die anschliessende Empfangskurve. Hier erfährt sie einen vollständigen Richtungswechsel und wird in ihrer lebendigen Kraft angemessen gehemmt. Sie fällt dann auf die Klappen d und e der oberen Schleuse, und darauf, da diese ausweichen, auf die Klappe d der untern Schleuse. Bevor sie zu dieser gelangt, legt sie den in das Rohrprofil hineinragenden Hebel g um, wodurch das Ventil i geöffnet wird, sodass plötzlich äussere Luft in das Rohr f und die Schleuse b gelangt. Die Folge davon ist, dass sich die Klappe d der oberen Schleuse schliesst, während die gleiche Klappe der untern Schleuse entlastet wird; die Büchse kann diese somit samt der Klappe e auf die Seite schieben und fällt in den Ausfallbehälter; der Hebel g springt hierauf in die ursprüngliche Lage zurück. Der im Rohr a herrschende Unterdruck bewirkt nun, dass die im Innern von c und f befindliche atmosphärische Luft durch die kleine Oeffnung k der oberen Platte d expandiert, wodurch nach einigen Sekunden, und zwar schon während der Ausschleusung der Büchse, wieder der Anfangszustand hergestellt wird. Die Oeffnung l in der Klappe e der oberen Schleuse erfüllt den gleichen Zweck bei Betrieb des Apparats mit Druckluft, der bei allfälligen Störungen eintreten muss. Im Ruhezustand ist dann die Klappe e der untern Schleuse c angedrückt, während die übrigen entlastet sind, und das Ventil i wirkt als Auslass- statt als Saugventil.

Im Hinblick auf die Möglichkeit, dass zwei Büchsen gleichzeitig in der Rohrpoststation anlangen, ist das Verbindungsrohr zwischen beiden Schleusen so lang bemessen, dass zwei Büchsen übereinander darin Platz finden; gelangen drei Büchsen in das Rohr, so kann eine Ausschleusung nicht stattfinden, da die Klappen der oberen

Schleuse offen bleiben und daher wohl eine Druckverminderung, aber keine völlige Entlastung der angedrückten Klappe der unteren Schleuse eintritt. Dieser Zustand macht sich durch ein dauerndes Zischen bemerkbar, hervorgerufen durch die Luft, die durch das Ventil i ein- oder ausströmt. Durch Oeffnen des Ventils m werden in einem solchen Fall alle vier Klappen entlastet und die Büchsen fallen in den Empfangskorb.

Beim vollautomatischen Apparat dient für die Absendung der Büchsen eine Vorrichtung, in der im wesentlichen das gleiche Doppelklappensystem wie beim Empfänger eingebaut ist. Diese Schleuse steht mit einem einfachen Doppelklappensender in Verbindung, der ein nach zwei Seiten abgeschrägtes Einwurfrohr besitzt. Jede Seite dieser Einwurfanordnung ist durch Klappen verschlossen.

Die *Signale* für den Büchsenverkehr erfolgen entweder auf telephonischem oder auf optischem Wege, in Verbindung mit einem Zähler, wobei gleichzeitig durch eine Fernsteuerung zu den Gebläse-Antriebsmotoren auch deren bedarfsweises Ein- und Ausschalten veranlasst wird. Ferner wurde für den Rohrpostdienst die elektrische Zeitstempelung durch den Anschluss an die telegraphenamtlichen Zentraluhrenanlagen ermöglicht (Siemens- & Halske-System, Berlin). Diese Maschinen arbeiten bei Einschaltung der Fernsteuerungs-Automaten, durch die Patronensignalanlage betätigt, *nur auf die Dauer* der einzelnen Büchsentransporte, was grosse Stromersparnisse zur Folge hat.

Das Gleichgewichtsprofil der Seilbahn.

Von Zivilingenieur *H. H. Peter* in Zürich.

Ungenügend studierte Längenprofile bei Seilbahnen mit Motor- oder Wasserballast-Betrieb haben schon öfter Projektanten und Bahnunternehmungen Missvergnügen bereitet. Wenn auch die in der Schweiz seit rund einem Vierteljahrhundert erstellten Seilbahnen durchweg elektrischen Betrieb und eine freiere Entwicklung des Längenprofils als Wasserballast-Bahnen erhielten, so ist doch allgemein bei der Projektierung solcher Bahnen vom betriebstechnischen Standpunkt aus, namentlich zur Erzielung gleichmässiger Fahrgeschwindigkeit und befriedigender Fahrtregulierung, geringen Betriebskraftkonsums und günstiger Dimensionierung, bezw. Beanspruchung von Antrieb und Bremsen, ein möglichst vorteilhaftes Längenprofil, das sogenannte theoretische (ideale, kompensierte) oder *Gleichgewichtsprofil* anzustreben. Dabei hat natürlich der projektierende Ingenieur auch einer in bautechnischer Hinsicht möglichst rationellen Linienführung alle Aufmerksamkeit zu schenken.

Die bisher in der technischen Literatur vorhandenen Darstellungen des theoretischen Längenprofils für Seilbahnen mit Motor- oder Wasserballast-Betrieb sind für die Zwecke des Praktikers zum Teil zu ungenau, zum Teil zu kompliziert und damit für die direkte Verwendung und rasche Berechnung in Bureau und Feld ungeeignet. Je nach den Belastungsannahmen und den in die Rechnung eingeführten Näherungen wurde das Gleichgewichtsprofil für ungleiche Wagenlasten von *v. Hauer, de la Goupillière, Chenaux* und *v. Reckenschuss*, zum Teil mit einem grossen Aufwand von Formeln, als Zykloide nachgewiesen; *Vautier* und *Tajani* vertreten hierfür genähert eine Planparabel, und *Cavalli* und *Meissner* für gleiche Wagenbelastungen die Traktrix.

Alle diese bisherigen Arbeiten lassen eine einfache, allgemeine Ableitung sowohl des Gleichgewichtsprofils als insbesondere einer daraus bequem zu errechnenden und für die Bedürfnisse der Praxis *genügend genauen Näherungskurve* erwünscht erscheinen.

I. Theoretisches Profil.

Es bedeuten:

P_1, bezw. P_2 das Bruttogewicht des talwärts-, bezw. bergwärts fahrenden Wagens in kg,

p das Zugseilgewicht in kg/m,

α, bezw. β die Bahnneigung am untern, bezw. am obern Bahnende,

l die horizontale Bahnlänge zwischen den Wagen, bezw. Bahnenden in m,

h die Höhendifferenz zwischen den beiden Wagenstellungen, bezw. Bahnenden,

W die gesamten Bahnwiderstände (die für Projektzwecke genügend genau als konstant angenommen werden können) in kg,

K die am Seiltriebradumfang wirkende Motorkraft in kg und

γ die Bahnneigung in Ausweichmitte;

dann hat man bei Bergfahrt des Wagens P_2 vom untern Bahnende aus

$$P_2 \sin\alpha - P_1 \sin\beta + p\,h = K - W, \quad . \quad . \quad (1)$$

und für die korrespondierende Wagenstellung P_2 am obern Bahnende

$$P_2 \sin\beta - P_1 \sin\alpha - p\,h = K - W, \quad . \quad . \quad (2)$$

für die Wagenkreuzungsstelle in der Ausweichmitte ist ferner

$$(P_2 - P_1) \sin\gamma = K - W. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Hieraus folgt

$$(P_2 - P_1)(\sin\beta + \sin\alpha) = 2\,(K - W) \quad . \quad . \quad (4)$$

$$(P_2 + P_1)(\sin\beta - \sin\alpha) = 2\,p\,h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

$$\sin\beta + \sin\alpha = \frac{2\,(K-W)}{P_2 - P_1} = 2 \sin\gamma \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4')$$

$$\sin\beta - \sin\alpha = \frac{2\,p\,h}{P_2 + P_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5')$$

$$h = \frac{P_2^2 - P_1^2}{4\,p\,(K-W)} (\sin^2\beta - \sin^2\alpha) = y_2 - y_1 \quad (6)$$

wo y_2 und y_1 die Ordinaten der beiden Wagen-Endstellungen in den Neigungen β und α sind.

Daraus folgt als Gleichung des Bahnprofils, wenn y die der Bahnneigung τ entsprechende Ordinate bedeutet

$$y = \frac{P_2^2 - P_1^2}{4\,p\,(K-W)} \sin^2\tau, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

also eine *Zykloide* mit dem Rollkreisdurchmesser

$$c = \frac{P_2^2 - P_1^2}{4\,p\,(K-W)} = \frac{P_2 + P_1}{4\,p \sin\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7')$$

Für diese Kurve hat man, die Integrationskonstante gleich Null gesetzt, die weitern Parametergleichungen:

$$s = \int \frac{dy}{\sin\tau} = 2\,c \int \cos\tau\, d\tau = 2\,c \sin\tau \quad . \quad (8)$$

$$x = \int \cos\tau\, ds = 2\,c \int \cos^2\tau\, d\tau = c(\tau + \sin\tau \cos\tau) \quad (9)$$

$$\varrho = \frac{ds}{d\tau} = 2\,c \cos\tau. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (10)$$

Die Endneigungen sind

$$\sin\alpha = \frac{K-W}{P_2 - P_1} - \frac{p\,h}{P_2 + P_1} = \sin\gamma - \frac{p\,h}{P_2 + P_1} \quad (11)$$

$$\sin\beta = \frac{K-W}{P_2 - P_1} + \frac{p\,h}{P_2 + P_1} = \sin\gamma + \frac{p\,h}{P_2 + P_1} \quad (12)$$

ferner ist die in der Bahnneigung gemessene Länge zwischen den Bahnenden

$$s = \frac{h}{\sin\gamma} = \frac{2\,h}{\sin\alpha + \sin\beta} = h\,\frac{P_2 - P_1}{K - W} = 2c\,\frac{p\,h}{P_2 - P_1} \quad (13)$$

und

$$\frac{h}{l} = \frac{\sin^2\beta - \sin^2\alpha}{\beta - \alpha + \sin\beta\cos\beta - \sin\alpha\cos\alpha} = \frac{\cos^2\alpha - \cos^2\beta}{2\,\beta - 2\,\alpha + \sin 2\,\beta - \sin 2\,\alpha} \quad (14)$$

Ausser der allgemeinen Bahngleichung für *Motorbetrieb*

$$y = \frac{P_2^2 - P_1^2}{4\,p\,(K-W)} \sin^2\tau$$

erhält man, wenn die Motorkraft $K = 0$ sein soll, nach Gleichung (3) die Bedingung

$$P_1 - P_2 = \frac{W}{\sin\gamma},$$

und damit die *Bahngleichung für Wasserballast-Betrieb*

$$y = \frac{P_1^2 - P_2^2}{4\,p\,W} \sin^2\tau = c_1 \sin^2\tau, \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

d. h. eine *Zykloide* mit dem Rollkreisdurchmesser

$$c_1 = \frac{P_1^2 - P_2^2}{4\,p\,W} = \frac{P_1 + P_2}{4\,p \sin\gamma} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15')$$

Hierbei ist zu beachten, dass im Bruttogewicht P_1 ausser der Verkehrslast auch der *Wasserballast* inbegriffen ist.