

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 89/90 (1927)
Heft: 9

Artikel: Knicken eines Stabes unter Temperatur-Spannungen
Autor: Escher, Arnold
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-41750>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

DIE SIEDELUNG AUF DEM WEISSENHOF-GELÄNDE DER STUTTGARTER AUSSTELLUNG DIE WOHNUNG.



Axonometrie-Masstab etwa 1 : 2000, nach „Stein, Holz, Eisen“
2. Sondernummer „Die Wohnung“. — Der Zugang erfolgt von der westl. Ecke, der Endschleife der Strassenbahnlinie 10, die mit rund 4 km Länge vom Hauptbahnhof über die Birkenwaldstrasse das Weissenhof-Gelände erreicht.

lich interessant, und somit vorzüglich (denn bei einer Ausstellung kommt einzig dieser Gesichtspunkt in Betracht). Als *Siedlung* betrachtet wird sie den guten Gedanken der modernen Architektur viel mehr schaden als nützen, weil sie ihnen, den vorübergehenden, ausstellungstechnischen Rücksichten zuliebe, aufs Schroffste widerspricht; der Besucher, der in ein paar Jahren dieses verworrene Film-Dorf betrachten wird, ohne zu wissen, dass er die „stehengebliebenen Reste eines ehemaligen Ausstellungsparkes“ vor sich hat, wird sich an den Kopf greifen und wohl schwerlich mildere Gefühle dafür aufbringen, als für die berühmte Künstlerkolonie auf der Mathildenhöhe in Darmstadt¹⁾.

Die Grundstücksgrenzen sind nirgends deutlich bezeichnet, die einzelnen Häuser stehen im gemeinsamen Raum, Blumenrabatten und niedere Hecken genügen als Grenzen. Das wäre freilich ein paradiesischer Idealzustand und er ist vielleicht sogar realisierbar, wo sich Angehörige einer Lebensgemeinschaft, einer religiösen Sekte oder sonstigen Gruppe entschliessen, miteinander eine Siedlung zu gründen; die Häuser im Föhrenwald der Dessauer Bauhausmeister zeigen, wie schön eine derartig friedlich-entspannte Siedlung sein kann. Wird sich aber dergleichen bei einer städtischen Siedlung, die an ihre Mieter schwerlich weltanschauliche Anforderungen im Mietkontrakt fixieren darf, ebensoglatt durchführen lassen? Und gar in Deutschland, wo jeder sogar seinen Schrebergarten (im Gegensatz zur Schweiz) mit hohem Zaun, Dornhag und Stacheldraht gegen seinen Nachbar verteidigt? Es ginge vielleicht bei grossen Abständen, aber auch hier durchkreuzten die Ausstellungs-Rücksichten die Erfordernisse der Bewohner: man wollte die moderne Siedlungsform (im Stil von Dessau) vorführen, ohne dass der Raum dazu reichte, und so entstand ein Gewinkel kleiner Einfamilienhäuser, in denen jeder Nachbar sämtlichen ändern in die Suppentöpfe und Terrassen sieht.

Was die sehr unterschiedliche Qualität der einzelnen Bauten angeht, werden wir bei deren Besprechung das Nötige sagen. Neben dem befreienden Gefühl, den ersten Versuchen einer wahrhaft lebendigen, frischen Architektur gegenüberzustehen fühlt sich der Beschauer gelegentlich im gleichen Hause angewidert von aufdringlichen Mätzchen und offensichtlichen Leichtfertigkeiten, an denen alle Reaktionäre und Uebelwollenden mit Wonne die Hebel

¹⁾ Ausführliche Darstellung in „S. B. Z.“, Bd. 38, S. 77 ff. (August-September 1901).

der Verneinung einsetzen werden, ohne dass man ihnen widersprechen kann.

Jede Ausstellung wendet sich notwendigerweise ans grosse Publikum, sie sollte also Schulbeispiele, Normalfälle zeigen, nicht ausgefallene Spezialitäten, die auf ein ganz ausnahmsweises Wohnbedürfnis zugeschnitten sind. Wie viele Familien könnten aber beispielsweise das Haus von Le Corbusier mit dem durch zwei Geschosse reichenden Hauptraum bewohnen, in dem Schlafzimmer und Bad nur durch kaum zwei Meter hohe Kulissen (statt Wänden) vom Hauptraum abgetrennt sind? Mir scheint, es wäre die wichtigere Aufgabe, zu zeigen, wie sich ein normales, meinetwegen bürgerliches Wohnbedürfnis aufs Knappste und Beste befriedigen lässt, als utopische Bauten aufzustellen mit der Forderung, der Bewohner habe sein Dasein eben auf das Haus abzustimmen: denn das haben die Jugendstil-Architekten auch schon gesagt. Die Ausstellung wird also kaum zu einer grundsätzlichen Abklärung der schwebenden Fragen beitragen, und wer nicht ohnehin schon von der Richtigkeit der modernen Architektur-Ideen überzeugt ist, wird hier schwerlich von

ihnen überzeugt werden. Architektur ist nun einmal kein Ausstellungsobjekt, und ihre Entwicklung lässt sich nicht im Treibhaus solcher Veranstaltungen mit Kulturgetöse forcieren. Indem man Wohnungsarchitektur ausstellungsmässig montiert, treibt man sie ins Filmhafte, Sensationelle, Repräsentative, also gerade in jenes Haschen nach äusserem Effekt, das die moderne Architektur ihrem innersten Wesen nach überwinden muss, und so ist sehr zu hoffen, dass diese Stuttgarter Ausstellung der letzte Versuch dieser Art sein möge. Aber wie gesagt: es ist wichtig und nötig, dass man sie selbst ansieht, vielleicht bietet sich dem Architekten nie mehr eine solche Fülle des Interessanten auf so engem Raum, und vielleicht ist der Referent für die negativen Seiten dieser Ausstellung nur darum so besonders empfindlich, weil er die positiven Seiten des neuen Wohnens und ihre Anerkennung schon als selbstverständlich voraussetzt, sodass man in einer Fachzeitschrift gar nicht mehr besonders davon reden sollte.

Wenn wir also unsere Bedenken schon jetzt, bei Lebzeiten der Ausstellung äussern, so geschieht es in der Absicht, den kritischen Beschauer — und auf diesen kommt es ja an — von vornherein darauf aufmerksam zu machen, dass er nicht jeden, auf ausstellungstechnische Gründe zurückzuführenden Mangel der modernen Architektur als solcher anrechnet, dass er also nicht das Kind mit dem Bad ausschütte.

P. M.

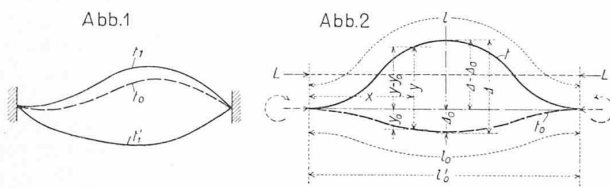
Knicken eines Stabes unter Temperatur-Spannungen.

Von ARNOLD ESCHER, Dipl. Ing. E. T. H., Buenos Aires.

Gegeben sei ein prismatischer Stab aus homogenem Material, dessen Elastizitätsgrenze im Verlaufe der nachfolgend betrachteten Vorgänge nicht überschritten wird. Dieser Stab habe einen Temperaturexpansions-Koeffizienten α , und sei auf einem Sockel von verschiedenem Temperaturexpansions-Koeffizienten α_0 an den Enden derart befestigt, dass jede gleichmässige Temperaturänderung des ganzen Systems einen analytisch fassbaren Einfluss auf den Stab zur Folge hat. Die Abmessungen des Sockels werden als so gross angenommen, dass die Rückwirkung der im Stabe auftretenden Kräfte auf den Sockel vernachlässigt werden kann.

Ist der Stab im spannungslosen Zustande bei der Temperatur t_0 gerade, und tritt eine Temperaturänderung

ein, die in ihm Druckspannungen erzeugt (wir wollen ihr in der Folge das + Vorzeichen geben, und betrachten nur gleichmässige Temperaturänderungen des ganzen Systems), so wird er gerade bleiben bis die Temperatur t_k erreicht ist, der die Knickspannung des Stabes entspricht; bei der geringsten Ueberschreitung dieser Temperatur wird der Stab ausknicken, jedoch nur um einen sehr kleinen Betrag, da infolge der dadurch bewirkten Verlängerung der Axe die Spannung sogleich verringert wird. Nimmt darauf die Temperatur weiter zu, so wird sich der Stab einem gewissen Gesetze folgend stetig verformen. Wenn der Stab schon bei der Temperatur t_0 eine Krümmung der Axe aufweist (Abbildung 1), so tritt von Anfang an für jede Temperaturänderung stetige Verformung ein. Hat diese nun ein bestimmtes Mass t_1 erreicht und wird der Stab durch eine äussere Ursache bei gleichbleibender Temperatur auf die der anfänglichen Bewegung entgegengesetzte Seite gedrängt, so leuchtet ein, dass unter gewissen Bedingungen eine weitere Lage t_1' erreicht wird, wo der Stab unter den Temperaturspannungen allein wieder im Gleichgewicht ist. Dieser Vorgang soll im folgenden näher untersucht werden (Abbildung 2).



Wir nehmen an, der Stab habe im spannungslosen Zustand bei der Temperatur t_0 eine sinusförmige Krümmung der Axe vom Maximalbetrag Δ_0 . Die Länge der gekrümmten Axe sei l_0 . Die Enden seien starr eingespannt, sodass die Einspannungstangenten in ein und dieselbe Gerade fallen. Die Gleichung der Axe lautet demgemäss:

$$y_0 = \frac{\Delta_0}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi x}{l_0'}\right) \right] \quad (1)$$

Wir untersuchen diesen Knickfall mit Rücksicht auf die leichte technische Verwirklichungsmöglichkeit dieser Einspannungsart, die uns mit Rücksicht auf die weiter unten erwähnte praktische Seite dieser Abhandlung besonders interessiert. Selbstverständlich lässt sich eine analoge Untersuchung für jede beliebige Endlagerung durchführen, und auch Stäbe von anderer als die angenommene Krümmung werden unter gewissen Bedingungen das im folgenden abzuleitende typische Verhalten aufweisen.

Die Durchbiegungen seien so klein, dass die übliche Annahme von der Gleichheit des Bogen- und Abszissen-Differentiales gemacht werden kann

$$ds = dx, \quad \frac{1}{Q} = \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{m}{EI}$$

und der Stab folgt jeder nachträglichen Durchbiegung, wiederum einer Sinuslinie von der Form:

$$y - y_0 = \frac{\Delta - \Delta_0}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi x}{l_0'}\right) \right] \quad (2)$$

Die Länge der gekrümmten Axe $\int ds = l$ und die Abszissenaxe $\int dx = l_0'$ können jedoch nicht gleich gesetzt werden, wenn wir die prinzipiellen Verhältnisse unserer Aufgabe erfassen wollen; wir benutzen daher die für die Bogenlänge beliebiger schwach gekrümmter Kurven gültige Gleichung:

$$l_0 = l_0' \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{\Delta_0}{l_0'} \right)^2 \right], \quad l = l_0' \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{\Delta - \Delta_0}{l_0'} \right)^2 \right]$$

und daraus:

$$l = l_0 \left[\frac{1 + \frac{8}{3} \left(\frac{\Delta - \Delta_0}{l_0'} \right)^2}{1 + \frac{8}{3} \left(\frac{\Delta_0}{l_0'} \right)^2} \right]$$

oder, indem wir l_0' im Zähler und Nenner durch l_0 ersetzen:

$$l = l_0 \left[\frac{l_0^2 + \frac{8}{3} (\Delta - \Delta_0)^2}{l_0^2 + \frac{8}{3} \Delta_0^2} \right] \quad (3)$$

Die gegenseitige lineare Verschiebung der Einspannungsquerschnitte infolge einer Temperaturänderung t ist angenähert $d_b = \alpha_b t l_0$, die Längenänderung des Stabes ist ebenso: $d_s = \alpha_s t l_0$. Die Temperaturspannungen erzeugende relative Längenänderung ist daher $d_t = (\alpha_s - \alpha_b) t l_0$; wir benutzen weiterhin den relativen Temperaturspannungskoeffizienten $\alpha_s - \alpha_b = \alpha$, der positiv oder negativ sein kann.

Bei einer gewissen Durchbiegung Δ und Temperaturänderung t gegenüber der spannungslosen Lage, und unter dem Einfluss einer gewissen Querbewegung befindet sich der Stab im Gleichgewicht. Die Querbewegung nehmen wir am besten proportional den Durchbiegungs-Ordinaten sinusförmig verteilt an. Eine Einzellast in der Mitte stellt jedoch bei den betrachteten kleinen Durchbiegungen eine gute Annäherung dar. Die durch die Querbewegung erzeugte Durchbiegung Δ_P ist selbstverständlich auch von der Gesamtdurchbiegung, bezw. Temperatur abhängig, da wir sie aber sowieso im Resultat unserer Ableitung gleich null zu setzen haben, brauchen wir uns damit nicht weiter zu befassen; es ist jedoch logisch richtig, sie von Anfang an einzuführen, da andernfalls der Stab niemals von seiner spannungslosen Lage aus die weiteren aufzufindenden Gleichgewichtslagen erreichen kann.

Zwecks Aufstellung der Zustandsgleichung des verformten Stabes denken wir uns vorübergehend die Befestigung des einen Endes beseitigt. Die Länge des Stabes ist dann:

$$l_1 = l_0 (1 + \alpha t) \quad (4)$$

Die Länge des eingespannten Stabes ist jedoch bei der Durchbiegung Δ :

$$l = l_0 \left[\frac{l_0^2 + \frac{8}{3} (\Delta - \Delta_0)^2}{l_0^2 + \frac{8}{3} \Delta_0^2} \right]$$

Die auf den Stab wirkende Längskraft, deren Wirkungslinie durch die Wendepunkte festgelegt ist, muss daher eine Längenänderung erzeugen:

$$d_l = \frac{L l_0'}{EF} \quad (5)$$

worin E der Elastizitätsmodul und F der Querschnitt des Stabes bedeuten, und es besteht die Elastizitätsgleichung:

$$l_1 - l - d_L = 0$$

oder durch Einsetzen aus Gl. (3), (4), (5):

$$l_0 \left[1 - \frac{l_0^2 + \frac{8}{3} (\Delta - \Delta_0)^2}{l_0^2 + \frac{8}{3} \Delta_0^2} + \alpha t \right] - \frac{L l_0'}{EF} = 0$$

und daraus:

$$L = EF \frac{l_0}{l_0'} \left[1 - \frac{l_0^2 + \frac{8}{3} (\Delta - \Delta_0)^2}{l_0^2 + \frac{8}{3} \Delta_0^2} + \alpha t \right] \quad \text{wobei } \frac{l_0}{l_0'} \sim 1 \quad (6)$$

Der von L herrührende Durchbiegungsanteil Δ_L ist nun:

$$\begin{aligned} y_L &= \int \int \frac{m_L dx^2}{EI} \quad \begin{cases} m_L = m_{L \max} \cos\left(\frac{2\pi x}{l_0'}\right) \\ m_{L \max} = L \left(\frac{\Delta - \Delta_0}{2} \right) \\ m_L = L \left(\frac{\Delta - \Delta_0}{2} \right) \cos\left(\frac{2\pi x}{l_0'}\right) \end{cases} \\ &= \frac{L (\Delta - \Delta_0) \left(\frac{l_0'}{\pi} \right)^2}{8 EI} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi x}{l_0'}\right) \right] \\ \Delta_L &= \frac{L (\Delta - \Delta_0) \left(\frac{l_0'}{\pi} \right)^2}{4 EI} = \frac{\left[1 - \frac{l_0^2 + \frac{8}{3} (\Delta - \Delta_0)^2}{l_0^2 + \frac{8}{3} \Delta_0^2} + \alpha t \right] (\Delta - \Delta_0) \left(\frac{l_0'}{\pi} \right)^2 F}{4 l} \quad (7) \end{aligned}$$

und die Gesamtdurchbiegung mit den Eingangs erwähnten Einschränkungen:

$$\Delta = \Delta_P + \Delta_L$$

bezw. nach Einsetzen der Werte aus Gl. (7):

$$\Delta = \Delta_P + \frac{\left[1 - \frac{l_0^2 + \frac{8}{3} (\Delta - \Delta_0)^2}{l_0^2 + \frac{8}{3} \Delta_0^2} + \alpha t \right] (\Delta - \Delta_0) l_0'^2 F}{4 \pi^2 l} \quad \text{wobei } l_0' \sim l_0 \quad (8)$$

Für die Lagen, in denen der Stab unter den Temperaturspannungen allein, d. h. für sich selbst im Gleichgewicht ist, setzen wir $A_P = 0$ und erhalten nach einigem Umformen die Hauptgleichung:

$$\alpha t = 4 \frac{\pi^2 I}{l_0^2 F} \left(\frac{A}{A_0} \right) - 1 + \frac{l_0^2 + \frac{8}{3} (A - A_0)^2}{l_0^2 + \frac{8}{3} A_0^2} \quad (9)$$

Diejenigen Werte von t und A , die dieser Gleichung genügen, stellen also Gleichgewichtslagen des betrachteten Stabes dar, und wir erhalten im allgemeinen Falle das in Abbildung 3 wiedergegebene Bild.

Es interessiert nun vor allem, was für eine Bedeutung den verschiedenen Kurvenästen zukommt. Der Ast links der Ordinatenaxe stellt ohne Zweifel eine Folge von stabilen Gleichgewichtslagen dar, die sich ergeben, wenn der Stab vom spannungslosen Zustand aus alle möglichen Temperaturen durchläuft. Oberhalb einer gewissen Temperatur t_v , die wir in Anlehnung an die von Poincaré eingeführte Bezeichnungweise Verzweigungstemperatur nennen wollen, entsprechen jedoch jeder Temperatur drei verschiedene Gleichgewichtszustände. Es befindet sich der Stab im Punkte A in einer stabilen Gleichgewichtslage, und auch das Gleichgewicht im Punkte C wird stabil sein, indem die Gleichung zeigt, dass die beiden äusseren Aeste für grosse A identisch $\pm$ werden. Die Lage B jedoch ist labil, denn um den Stab von A nach B zu verschieben, benötigen wir eine gegen B hin gerichtete Kraft, die, da keine andere Gleichgewichtslage zwischen A und B besteht, erst im Punkte B selbst $= 0$ wird; das selbe gilt für eine Verschiebung von C nach B. Nach einer sehr kleinen Verschiebung des Stabes aus der Lage B ist dieser also in jedem Falle einer von B weg gerichteten Kraft ausgesetzt, d. h. sein Gleichgewicht in B ist labil.

Von besonderem Interesse ist der Punkt N, wo sich der stabile und labile Ast vereinigen. Seine Bedeutung lässt sich folgendermassen illustrieren: Der Stab sei durch eine äussere Ursache aus seinem spannungslosen Zustand O auf die andere Seite der geraden Axe nach P gedrängt, und zwar so, dass er bei jeder Temperatur an einer Bewegung nach links verhindert ist, jedoch frei ist, sich nach rechts zu bewegen. Nimmt nun die Temperatur zu, so bewegt sich der Zustandspunkt auf der Geraden PB gegen B zu. Im Punkt B angelangt, genügt die kleinste Ursache, z. B. eine differenzielle Erhöhung der Temperatur, um den Stab aus dem Gleichgewicht zu bringen, und er wird dann plötzlich aus der labilen Gleichgewichtslage B in die stabile Lage C hinüber knicken. Steigt darauf die Temperatur weiter, so folgt der Stab stetig dem durch den äussersten Ast rechts veranschaulichten Zustand nach oben bzw. aussen; sinkt aber die Temperatur, so bewegt er sich nach unten bzw. links; am Punkte N angelangt, wird das stabile Gleichgewicht unmöglich, und er wird in die Anfangslage zurückschnellen.

Für $A_0 = 0$, d. h. für den ursprünglich geraden Stab stellt die Ordinatenaxe unterhalb der Temperatur t_K , der die Eulersche Knickkraft für den gegebenen Fall entspricht, die stabile Gleichgewichtslage dar; oberhalb t_K ist die Gerade eine labile Gleichgewichtslage; daneben treten noch zwei verschiedene stabile Lagen auf (Abbildung 3, strichpunktiert).

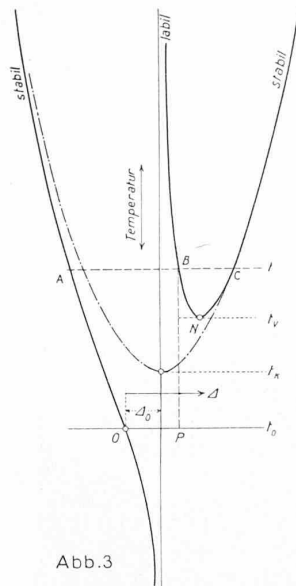


Abb.3

Es fällt hier ohne weiteres die Analogie auf mit dem gewöhnlichen Knickproblem, wo die Längskraft nicht von der Ausbiegung abhängt. Die angenäherte Berechnung gibt in diesem letzten Falle zwar die Durchbiegung für jede Kraft oberhalb der Eulerschen Knickkraft $= \infty$, die genauere Berechnung zeigt jedoch, dass auch hier neben der labil werdenden Gleichgewichtsgeraden noch zwei stabile Lagen auftreten.¹⁾

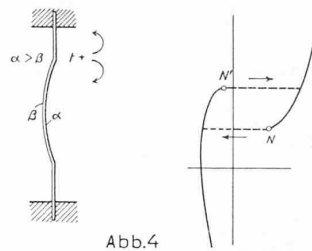


Abb.4

links der Axe im Endlichen abbrechen (Abbildung 4). Dabei ergibt sich ohne seitliche Verschiebungsursachen bei jedem Durchlaufen der Temperaturskala eine plötzliche Verformung von endlicher Grösse.

Dieses Prinzip wird übrigens von der Westinghouse Electric Co. in einem Thermostaten ausgenutzt.²⁾ Es besteht aber kein Zweifel, dass auch das im vorliegenden Artikel behandelte Verhalten eines homogenen Stabes zur Temperaturregulierung elektrischer Apparate verwendet werden kann.³⁾

Vor allem wird sich ein solcher Thermostat durch äusserste Einfachheit auszeichnen. Er besteht nämlich in seiner praktisch verwendbaren Form aus zwei, an den Enden mit einander verbundenen Metallstreifen von verschiedenem Ausdehnungs-Koeffizienten. Der elastische Streifen A weist ursprünglich eine gewisse Krümmung auf, und wird darauf durch den Streifen B in eine solche Lage gedrängt und darin derart festgehalten, dass bei einer bestimmten Temperatur A plötzlich von B wegschnellt, um nach einer gewissen Temperaturänderung wieder zurückzuknicken. Die mit ziemlich einfachen Mitteln geführten Versuche haben übrigens eine recht gute Uebereinstimmung des tatsächlichen Verhaltens mit den theoretischen Resultaten ergeben.

Rohrpostanlagen in der Schweiz.

Nachdem die Rohrpostanlagen auf Grund der im Laufe des letzten Jahrzehnts gemachten Erfahrungen in technischer Hinsicht ganz bedeutend vervollkommen worden waren, ging auch die schweizerische Telegraphen- und Telephonverwaltung an die Prüfung der Frage, ob die Einführung der Fernrohrpost bei den grösseren Telegraphenämtern eine teilweise Verbesserung und Verbilligung des Betriebes ergeben würde. Auf Grund der Ergebnisse ausführlicher Untersuchungen in betriebstechnischer und wirtschaftlicher Hinsicht entschloss sie sich darauf zum Bau von verhältnismässig umfangreichen Fernrohrpostanlagen in den Städten Lausanne, Zürich und Genf. Die als erste im Januar letzten Jahres in Betrieb genommene Anlage Lausanne verbindet mit einem 580 m langen Rohr das Haupttelegraphenamt mit der Filiale im S. B. B.-Bahnhof. Genf besitzt zwei 1057 m lange Leitungen bzw. eine 857 m lange Leitung von dem Haupttelegraphenamt-Stand nach den Filialen Mont-Blanc, bzw. Rive, und je eine 359 m bzw. 1051 m lange Leitung von der Filiale Mont-Blanc nach dem Bahnhof Cornavin und dem Völkerbund-Sekretariat. In Zürich sind bis jetzt insgesamt elf Leitungen in Betrieb, davon je eine von 1114 m, bzw. 764 m vom Haupttelegraphenamt nach dem Bahnhof Enge und der Postfiliale Rämistrasse, und neun Leitungen von 175 m bis 613 m Länge zwischen dem Hauptamt und den wichtigsten Banken. Insgesamt sind 39 Stationen mit 18 Maschinenaggregaten eingerichtet; die Gesamtlänge der verwaltungseigenen Rohre (also ohne die 3365 m Bankrohre) beträgt 8158 m; alle haben

¹⁾ Kriemler, Stabile und labile Gleichgewichtslagen. Karlsruhe 1902.

²⁾ Spencers Thermostat, U. S. Pat. No. 1448240.

³⁾ Patents pend.