Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 35/36 (1900)

Heft: 18

Artikel: Graphische Methode der Berechnung des flachen Fussrings räumlicher Fachwerke

Autor: Jasinski, Felix

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-21986

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: 05.12.2025

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

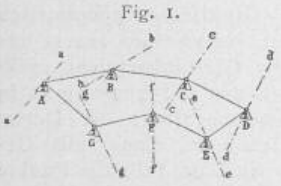
INHALT: Graphische Methode der Berechnung des flachen Fussringes räumlicher Fachwerke. — Das Elektricitätswerk der Société des Forces motrices de l'Avançon in Bex (Waadt). IV. (Fortsetzung statt Schluss). — Wettbewerb für eine evangelische Kirche in Rorschach. I. — Miscellanea: Solothurn-Münster-Bahn. Asynchrone Motoren auf der Pariser Weltausstellung. Magnalium. Grosse Dampfmaschinen. Eine elektrische Eisenbahn von Kairo nach den Pyramiden von Gizeh. Brennbarer Beton. — Konkurrenzen: Ueberbauung des Bellevaux-Areals in Lausanne. Bauten für die Basler Gewerbe-Ausstellung 1901. — Nekrologie: † Felix Jasinski. — Vereinsnachrichten: G. e. P.: Stellenvermittelung.

Graphische Methode der Berechnung des flachen Fussringes räumlicher Fachwerke.

Von † Professor *Felix Jasinski* in Petersburg.[1])

§ 1. Es ist bekannt, dass jegliches System steifer Stäbe[2]), welches ein in der Ebene oder im Raume liegendes, geschlossenes, mit Gelenken in den Stützpunkten versehenes Polygon bildet, geometrisch veränderlich ist, d. h. bei konstanter Länge der Stäbe seine Winkel verändern kann.

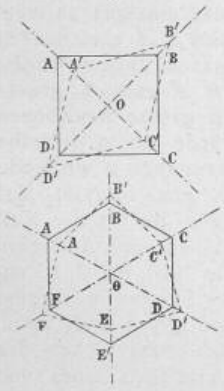
Fig. 1.



Wenn man aber das Polygon der Bedingung unterordnet, dass alle seine Eckpunkte ohne Reibung längs unbeweglichen Graden *aa*, *bb*.... (Fig. 1), ohne sich von ihnen zu entfernen, gleiten können, so wird dieses System geometrisch unveränderlich und statisch bestimmbar.[3])

Mit andern Worten, dieses System behält das Gleichgewicht unter Einwirkung jeglicher, auf die Eckpunkte des Polygons wirkender, aktiver Kräfte, wobei die Spannungen in den Stäben und die Reaktionen der Stützpunkte aus den Gleichungen der Statik bestimmt werden können.

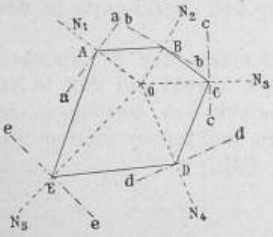
Fig. 2.



Die analytische Berechnung des obigen Systems ist im Princip mit keinen besonderen Schwierigkeiten verknüpft, erfordert jedoch in Wirklichkeit bei grosser Seitenanzahl recht komplicierte Berechnungen.

In vorliegender Abhandlung geben wir eine rein graphische Methode der Berechnung eines in einer Ebene liegenden, mit Gelenken und gleitenden Stützpunkten versehenen Polygons und eine übersichtliche Methode der Kontrolle, ob die Determinante der Gleichungen des Gleichgewichtes eines derartigen Polygons nicht gleich Null sei. Zum Schluss führen wir noch einige Daten an, wie man die Gleitlinien des mit Scharnieren versehenen Polygons richten muss, um Spannungen in der auf dem Polygon basierenden Konstruktion in Folge gleichmässiger Temperaturveränderung zu verhüten.

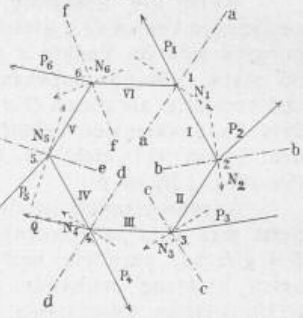
Fig. 3.



§ 2. Betrachte man das in der Fläche liegende, mit längs den Geraden *aa*, *bb*.... gleitenden Gelenken versehene Polygon (Fig. 4 *A*). In den Eckpunkten wirken die Kräfte R_1, R_2....[1]) in beliebiger Richtung im Raum; man zerlege jede dieser Kräfte in zwei Komponenten V_1, V_2.... senkrecht zur Ebene des Polygons, und P_1, P_2.... in der Ebene des Polygons. Die Komponenten V_1, V_2.... wirken direkt auf die Auflager, die Komponenten P_1, P_2.... rufen die Spannungen S_1, S_2... in den Stäben I, II und die Reaktionen N_1, N_2.... in der Ebene des Polygons, senkrecht zu den Gleitlinen *aa*, *bb*.... hervor.

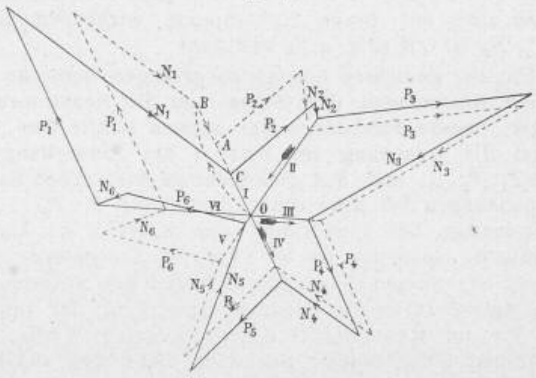
Das Polygon kann man als ein freies, in einer Ebene liegendes und mit Gelenken versehenes System betrachten, welches sich in Gleichgewicht bei Einwirkung folgender äusseren Kräfte befindet: bekannter P_1, P_2.... und der Grösse nach unbekannter N_1, N_2.... Ein derartiges Polygon ist augenscheinlich ein Seilpolygon für das System von Kräften P_1, N_1, P_2, N_2....

Fig. 4 A.



Benutzen wir diese Eigenschaft unseres Polygons zur Bestimmung der Reaktionen N_1, N_2... und der Spannungen

Fig. 4 B.



S_1, S_2.... Setzen wir fürs erste den Fall, dass keine der Gleitlinien *aa*, *bb*.... perpendikulär den im selben Knotenpunkte sich treffenden Stäben sei, oder mit anderen Worten, dass keine der Reaktionen in die Richtung eines in diesem Punkte angeschlossenen Stabes falle.

Fig. 4 C.

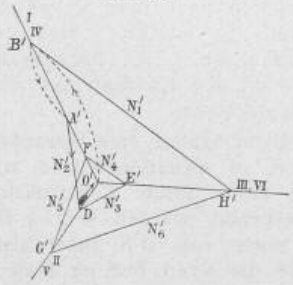


Fig. 4 D.

In diesem Falle genügt es zur Konstruktion des entsprechenden *Warinjon*'schen Kräfte-Polygons samt Pol und Strahlen, wenn eine der Spannungen S in einem beliebigen Stabe bekannt ist.

Aus dem beliebig gewählten Pol O (Fig. 4 *B*) ziehe man unbegrenzte Strahlen O I, O II.... parallel den Stäben des Polygons. Setze man willkürlich den Fall, dass der Stab I gedehnt und die Kraft in ihm gleich $O\,A$ sei.

Zur Konstruktion des Kräftepolygons ziehe man aus

---

[1]) *Leider ist der Verfasser vor der Drucklegung obigen Artikels gestorben.* (Siehe den Nachruf auf Seite 198 dieser Nummer).

[2]) Mit mehr als drei Seiten.

[3]) Mit Ausnahme einiger besonderer Fälle, in denen die Determinante der Gleichgewichts-Gleichungen gleich Null ist. So zum Beispiel: Bei Anordnung der Gleitlinien in der Richtung der Bisektoren in einem regelmässigen Polygon mit gerader Seitenanzahl (Fig. 2). Oder bei Anordnung in einem beliebigen, in der Ebene oder im Raume liegenden Polygon der Gleitlinien *aa*, *bb*.... (Fig. 3) senkrecht zu den Flächen $O\,N_1$, $O\,N_2$...., welche sich längs einer gemeinsamen Geraden O schneiden; die Determinante ist im letzteren Falle gleich Null, wie daraus hervorgeht, dass das Moment der Stützpunkts-Reaktionen, welche in den Flächen $O\,N_1$, $O\,N_2$.... liegen, in Beziehung auf die Achse O gleich Null ist, was für beliebige äussere aktive Kräfte im allgemeinen nicht zutrifft.

[1]) In Fig. 4 *A* sind die Projektionen P_1, P_2.... der Kräfte R_1, R_2.... auf die Ebene des Polygons angegeben.

Punkt A (Fig. 4 B) eine den Strahl O II schneidende Parallele zur Resultierenden der Kräfte P_2 und N_2.

Zu diesem Zweck trage man[1]) aus Punkt A einen der Kraft P_2 parallelen, gleich langen und der Richtung nach gleichnamigen Vektor auf, aus seinem Endpunkte ziehe man eine O II schneidende Parallele zu N_2. Darauf ziehe man aus dem Schnittpunkte der Richtungen O II und N_2 einen der Kraft P_3 gleichen, parallelen und gleichnamigen Vektor und aus seinem Endpunkte eine den Strahl O III schneidende Parallele zu N_3. Führt man eine derartige Konstruktion weiter, so langt man zum Schluss beim P_1 an; die aus seinem Endpunkte gezogene Parallele zu N_1 muss den Strahl O I im Ausgangspunkte A schneiden, da das Polygon der äusseren aktiven und passiven Kräfte $P_1, N_1, P_2, N_1 \ldots$ ein geschlossenes sein muss.

Wenn die Spannung im Stabe I wirklich dem aufgetragenen Vektor $O\,A$ gleich wäre, so würde unser Kräftepolygon sich im Punkte A schliessen. Aber die Spannung im Stabe I ist uns unbekannt, wir nahmen sie willkürlich und unrichtig als gleich $O\,A$ an, folglich kann auch die aus dem Endpunkte des Vektors P_1 zu N_2 gezogene Parallele den Strahl O I nicht in A schneiden, sondern schneidet ihn (Fig. 4 B) in B.

Augenscheinlich ist die eben gefundene Lösung falsch. Setzt man aber im Knotenpunkt 2 noch eine dem Abschnitt $B\,A$ gleiche, parallele und in der auf Fig. 4 B bezeichneten Richtung wirkende äussere Kraft an, so wäre das Kräftepolygon geschlossen, unsere Konstruktion wäre die vollständige Lösung der Aufgabe für diesen Fall, und es wäre die Spannung in Stab I gleich $O\,B$.

Die Richtung des Wirkungssinnes der Stabkraft I auf den Knotenpunkt 2 wird aus dem geschlossenen Kräftepolygon aller auf diesen Knotenpunkt wirkenden Kräfte $B\,A$, P_2, N_2, II, $O\,B$ (Fig. 4 B) bestimmt.

Um zur gesuchten Lösung zu gelangen, bemerke man, dass die Spannungen der Stäbe und die Reaktionen der Auflager lineare Funktionen der aktiven Kräfte sind, folglich ist die Spannung im Stabe I bei Einwirkung der Kräfte $P_1, P_2 \ldots$ und $B\,A$ gleich der geometrischen Summe der Spannungen bei Einwirkung der Kräfte $P_1, P_2 \ldots$ und der Spannung bei Einwirkung der Kraft $B\,A$. Also ist die gesuchte Spannung im Stab I gleich der geometrischen Differenz der obigen Spannung $O\,B$ und der Spannung im Stab I, welche durch die alleinige Einwirkung der äusseren Kraft $B\,A$ im Knotenpunkt 2 hervorgerufen wurde. Zur Bestimmung letztgenannter Spannung ziehe man aus beliebigem Pol O' (Fig. 4 C) den Seiten des Vielecks parallele Strahlen. Auf dem Strahl I trage man einen beliebigen Abschnitt $O'\,A'$ auf, von dessen Endpunkte ziehe man die Gerade N_2', welche den Strahl O' II schneidet, darauf ziehe man N_3' bis O' III u. s. w.; schliesslich ziehe man N', welche den Strahl O' I in B' schneidet. Es ist klar, dass der Vektor $O'\,B'$ die Spannung im Stab I bei Einwirkung der einzigen aktiven Kraft $B'\,A'$ auf den Knotenpunkt 2 in angegebener (Fig. 4 C) Richtung darstellt.

Die aktive Kraft $B\,A$ würde in Stab I eine Spannung hervorrufen, welche sich zu $O'\,B'$ so verhalten würde, wie $B\,A$ zu $B'\,A'$; diese Spannung kann durch Konstruktion der vierten Proportionalen bestimmt werden (Fig. 4 D). Die gefundene Grösse $O'\,B''$ muss von $O\,B$ subtrahiert werden, da im gegebenen Falle die Kraft $B\,A$ im Stab I, ebenso wie die Kraft $O\,B$, Zugspannung hervorruft, wovon man sich leicht aus dem Polygon der auf den Knotenpunkt 2 wirkenden Kräfte $B'\,A'$, N_2', $D'\,O'$, $O'\,B'$ (Fig. 4 C) überzeugen kann. Trägt man auf Fig. 4 B den Abschnitt $B\,C = O'\,B'$ auf, so findet man, dass die gesuchte Spannung im Stab I gleich $O\,C$ ist. Wiederholt man die obige Konstruktion des Kräftepolygons, vom Punkte C ausgehend, so erhält man die endgültige, gesuchte Lösung in der Form eines Diagramms, welches auf der Fig. 4 B mit starken Linien bezeichnet ist. Den Spannungen in den Stäben gleichen die Längen der entsprechenden Strahlen und die Reaktionen der Auflager gleichen den Vektoren $N_1, N_2 \ldots$. Zur Bestimmung, ob Druck- oder Zugspannung im gegebenen Stabe herrschen, genügt es, die ununterbrochene Richtung des Polygons aller auf einen Knotenpunkt wirkenden Kräfte zu betrachten. So herscht zum Beispiel im Stab III Zugspannung, was aus dem geschlossenen Polygon (Fig. 4 B) aller auf den Knotenpunkt 4 wirkenden Kräfte O III, P_4, N_4, O IV zu ersehen ist.

Die gefundenen Spannungen in den Stäben und Reaktionen der Auflager stellen die einzig mögliche Lösung der Aufgabe dar, da diese passiven Kräfte samt den gegebenen aktiven Kräften P den Gleichgewichts-Bedingungen aller Knotenpunkte des Polygons genügen, und statisch bestimmbare Systeme nur eine derartige Lösung zulassen.

§ 3. Die Konstruktion in Fig. 4 C zeigt, ob die Determinante der Gleichgewichts-Gleichungen des Polygons gleich oder nicht gleich Null ist, d. h., ob unser System bei gewöhnlicher Richtung der Gleitlinien geometrisch veränderlich ist oder nicht. Wir ziehen hier zuerst nur den Fall in Betracht, in dem die Gleitlinien nicht senkrecht zu den entsprechenden Seiten des Polygons sind. In diesem Falle ist es leicht zu beweisen, dass: die Determinante der Gleichgewichts-Gleichungen eines mit Gelenken versehenen Polygons gleich Null ist, falls die Punkte B' und A' (Fig. 4 C) einander decken, andernfalls ist sie nicht gleich Null.

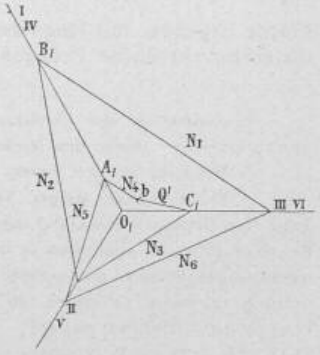
Das Diagramm in Fig. 4 C stellt die Spannungen in den Stäben und die Reaktionen der Auflager unter Einwirkung auf den Knotenpunkt 2 einer einzigen aktiven, in die Richtung des Stabes I fallenden und $B'\,A'$ gleichenden Kraft dar. Wenn der Punkt B' den Punkt A' decken würde, so würde die Null gleichende Kraft $B'\,A'$ endlich grosse Spannungen in den Stäben und endlich grosse Reaktionen der Auflager hervorrufen[1]); folglich würde die in dieselbe Richtung fallende, auf denselben Knotenpunkt 2 wirkende und nicht Null gleichende Kraft K um so viel Mal grössere Spannungen und Reaktionen, wie die für die Null gleichende Kraft gefundenen in den Stäben und Auflagern hervorrufen, als die Kraft K grösser wie Null ist, d. h. unendlich grosse. Es ist klar, dass das System in diesem Falle beweglich und seine Determinante gleich Null ist.

Zum Beweis, dass das gegenseitige Nichtdecken der Punkte A' und B' ein genügendes Kennzeichen eines von Null verschiedenen Wertes der Determinanten der Gleichgewichts-Gleichungen des Polygons ist, genügt es zu zeigen, dass bei obigem Nichtdecken eine beliebige, auf beliebigen Eckpunkt, zum Beispiel 4, wirkende aktive Kraft Q endlich grosse Spannungen in den Stäben und Reaktionen in den Auflagern hervorruft.

Fällt die Kraft Q in die Richtung der Stützpunkts-Reaktion N_4, so überträgt sie sich direkt auf den Stützpunkt 4, ohne die Stäbe des Vielecks zu beanspruchen, folglich genügt es, nur den Fall zu betrachten, in dem die Kraft Q nicht in die Richtung N_4 fällt.

Aus beliebigem Pol O, (Fig. 5) ziehe man Strahlen, parallel den Seiten I, II .... des Polygons (Fig. 4 A), trage $O, B, = O'\,B'$ (Fig. 4 C) auf, ziehe aus B, eine zu N_2 Parallele bis O, II, darauf eine Parallele zu N_3, welche O, III im Punkte C, schneidet. Aus demselben Punkt B, ziehe man eine Parallele zu N, bis O, IV und darauf, aufeinanderfolgend, die Parallelen zu N_6 bis O, V und zu N_5 bis O, IV. Aus den Punkten A, und C, ziehe man Parallelen zu N_4 und Q, welche sich im Punkte b schneiden. Das derartig konstruierte Diagramm stellt die Lösung der Frage für

Fig. 5.



[1]) In Fig. 4 B in punktierten Linien ausgeführt.

[1]) Selbstverständlich muss der beliebig gewählte Punkt A nicht den Pol O decken.

die auf den Eckpunkt 4 wirkende, in die Richtung Q fallende und dem Abschnitt C, b gleichende aktive Kraft Q' dar. Die gesuchten Spannungen in den Stäben und die Reaktionen der Stützpunke bei Einwirkung der Kraft Q verhalten sich zu den gefundenen, wie Q sich zu Q' verhält. Folglich sind die gesuchten Spannungen und Reaktionen bestimmt und endliche Grössen bei endlichen Werten für Q, was auch zu beweisen war.

Fig. 6.

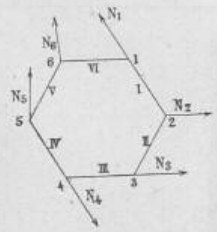


Fig. 7.

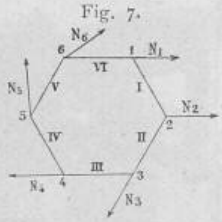
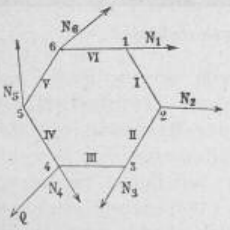


Fig. 8.



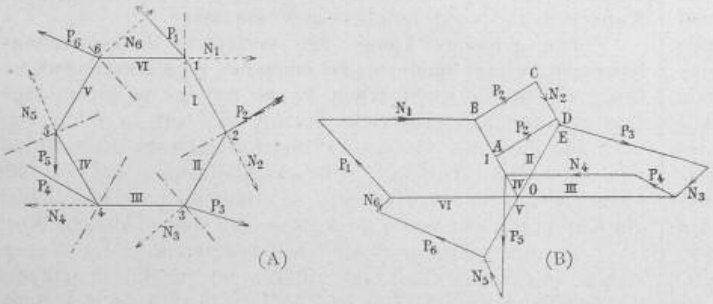
§ 4. Betrachten wir jetzt den Fall, in dem eine oder mehrere Stützpunkts-Reaktionen N in die Richtung eines im selben Stützpunkt angeschlossenen Stabes fallen. Hier können drei Fälle vorkommen: 1. Alle in die Richtung der Stäbe fallenden Reaktionen fallen mit den Stäben zusammen, welche in Beziehung auf den Stützpunkt in der Richtung der Bewegung des Uhrzeigers liegen (Fig. 6) oder 2. mit den Stäben, die in der entgegengesetzten Richtung liegen (Fig. 7) oder 3. mit den Stäben, welche teilweise in der einen, teilweise in der andern Richtung liegen (Fig. 8).

Beweisen wir zuerst, dass im letzten Falle die Determinante der Gleichgewichts-Gleichungen gleich Null ist. Man setze den Fall, dass nur auf den Eckpunkt 4 (Fig. 8) eine aktive Kraft Q wirkt. Aus den Gleichgewichts-Bedingungen für den Knotenpunkt 3 folgt, dass die Spannungen II und III und die Reaktion N_3 einzeln gleich Null sind, da die Kräfte II und N_3 in einer und derselben Geraden, die mit der Richtung der Kraft III nicht zusammenfällt, liegen. Wenn die aktive Kraft Q nicht mit der Richtung IV zusammenfällt, so ist das Gleichgewicht des Knotenpunktes 4 unmöglich, folglich ist die Determinante der Gleichgewichts-Gleichungen des Vielecks gleich Null.

Im ersten und zweiten Falle wird die Aufgabe nach den allgemeinen Regeln gelöst, jedoch mit bedeutenden Vereinfachungen.

Das Polygon (Fig. 9) gehöre zum zweiten Falle. Man fange die Konstruktion des Diagramms vom Stützpunkte 2 an, dessen Reaktion N_2 in die Richtung des Stabes I fällt. Setze man eine beliebige Spannung OA im Stabe I voraus, ziehe die Linien P_2, N_2, P_3.... und finde den Punkt B. Es ist nicht schwer zu beweisen, dass die wirkliche Spannung im Stabe I gleich OB ist; wenn man die Konstruktion vom Punkte B beginnt, so wird sich das Diagramm schliessen. Und wirklich: ziehe man von dem Punkt B die Gerade BC, welche gleich lang und parallel AD ist, und aus ihrem Endpunkte C ziehe man eine Parallele zu N_2, so wird die letztere die Gerade DE decken und O II im Punkt E schneiden, folglich ist der weitere Teil des Diagramms mit dem vorher Gefundenen identisch und das Diagramm im Punkte B geschlossen.

Fig. 9.



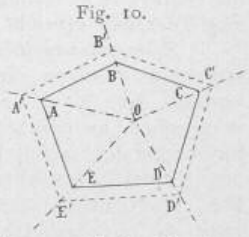
§ 5. In Betreff der Unbeweglichkeit und statischen Bestimmbarkeit eines mit Gelenken versehenen Polygons können die Gleitlinien beliebiger Richtung sein, wenn nur die Determinante der Gleichgewichts-Gleichungen nicht gleich Null ist. Jedoch hängt die Zweckmässigkeit des Systems von der gelungenen Wahl der Gleitlinien ab.

Eine der Hauptbedingungen, welcher eine gelungene Anordnung der Gleitlinien genügen muss, ist diejenige, dass das Polygon die Möglichkeit hat, bei gleichmässiger Temperaturveränderung seine Form, bei Beibehaltung der Kongruenz, zu verändern. Bekanntlich erleiden statisch bestimmbare Konstruktionen keinerlei zusätzliche Beanspruchungen in Folge von Temperaturwechseln, gleichgültig, ob die Auflager Veränderungen der Form ohne oder mit Beibehaltung der Kongruenz zulassen; folglich könnte es unnütz erscheinen, für unser Vieleck als statisch bestimmbares System Auflager zu konstruieren, welche die Erhaltung der Kongruenz sichern. Jedoch dienen die mit Scharnieren versehenen Fussringe als Basen für Konstruktionen, welch fast niemals statisch bestimmbare Systeme darstellen.

Die im Raume liegenden Systeme von Stäben, wie Kuppeln, Türme und dgl., stellen in Wirklichkeit keine statisch bestimmbare Systeme im strengen Sinne dar, sogar wenn sie der bekannten Bedingung der statischen Bestimmbarkeit[1]) $3_k = v + m$ genügen, da in den Knotenpunkten statt wirklicher Gelenke steife Verbindungen angeordnet werden, welche eine in allen Richtungen freie Bewegung nicht zulassen. Umsomehr sind die Systeme mit steifen Verbindungen, welche der Bedingung $3_k < v + m$ genügen, statisch unbestimmbar.

Es ist klar, dass, wenn die Auflager des Fussringes seine Formveränderung bei Beibehaltung der Kongruenz zulassen, alsdann jeder auf dem Fussringe ruhende Bau, welcher aus einem gleichmässigen isotropen Material besteht, das denselben Dehnungscoefficient hat, wie der Fussring, sich frei dehnen kann, ohne bei gleichmässiger Temperaturveränderung zusätzlichen Druck auf die Auflager auszuüben und folglich auch ohne Zusatzspannungen zu erleiden.

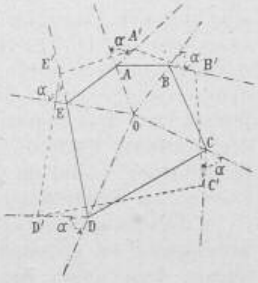
Fig. 10.



Die einfachste Art der Anordnung der Gleitlinien AA', BB'..... (Fig. 10), welche die Erhaltung der Kongruenz des Polygons ermöglicht, ist die, dass man sie alle auf einen beliebigen Punkt O richtet. In diesem Falle behält das Polygon nicht nur seine Kongruenz, sondern auch den Parallelismus der Seiten. Allein die konstruierten Diagramme zeigen, dass eine derartige Anordnung der Gleitlinien unvorteilhaft ist, da geringe aktive Kräfte grosse Spannungen in den Stäben hervorrufen.

In letzterer Beziehung wird es vorteilhafter, die Gleitlinien AA', BB'.... (Fig. 11) unter gleichen Winkeln zu, aus einem beliebigen Punkte O ausgehenden Geraden anzuordnen. Mittels elementarer Erwägungen ist es leicht nachzuweisen, dass derartig angeordnete Gleitlinien Veränderungen der Form des Polygons bei Beibehaltung der Kongruenz zulassen.

Fig. 11.



In der elementaren Geometrie wird bewiesen, dass man im allgemeinen für jegliche drei Ecken eines Polygons beliebige Gleitlinien wählen, und auf Grund dieser für die andern Ecken die Richtungen der Gleitlinien, welche Veränderungen des Polygons bei Beibehaltung der Kongruenz zulassen, bestimmen kann. Diese allbekante einfache Konstruktion führen wir hier nicht an.

[1]) Die verdreifachte Zahl der Knotenpunkte gleicht der Summe aus der Zahl der Stäbe und der zu bestimmenden Komponenten der Stützpunkts-Reaktionen bezw. Anzahl der Gleitbahnen in den Auflagern.

In einem regelmässigen Polygon ist es am Besten, die Gleitlinien unter gleichen Winkeln zu den Radien, d. h. unter gleichen Winkeln zu den Seiten des Polygons anzuordnen.

§ 6. Im allgemeinen ist es wünschenswert, die Gleitlinien derartig anzuordnen, dass in den Stäben Zugspannung herrsche und dabei eine möglichst geringe.

Die hier angeführte graphische Methode zeigt in übersichtlicher Anordnung, in wiefern die gewählten Richtungen der Gleitlinien in dieser Beziehung genügen. Wenn die Spannungen gross sind, so fliesst das Diagramm (Fig. 4 *B*), auf dem diese Spannungen proportional den Längen der aus dem Pol *O* ausgehenden Strahlen sind, auseinander und findet auf dem Blatt nicht genügend Raum.

Bei der Anordnung der Gleitlinien muss man auch die möglichste Verminderung des horizontales Schubes in den Auflagern auf den Mauern in Betracht ziehen. Zu diesem Zweck ist es nützlich, die Gleitlinien möglichst wenig von der Richtung der Normalen zu der cylindrischen Umfangsfläche der Mauern oder der Bisektoren der polygonalen Mauern abzulenken, wobei man jedoch beachten muss, dass bei Aufeinanderfallen der Gleitlinien und der Bisektoren eines regelmässigen Polygons mit gerader Seitenanzahl die Determinante der Gleichgewichts-Gleichungen gleich Null wird.

Das Elektricitätswerk der Société des Forces motrices de l'Avançon in Bex (Waadt).

Von *K. A. Breüer*, Ingenieur.

IV. (Fortsetzung statt Schluss.)

Der Betrieb der Centralstation wird besorgt durch einen Obermaschinisten, seinen Stellvertreter und vier weitere Maschinisten und Gehülfen. Ausserdem versieht ein Mann die Besichtigung der Wehranlage und die Regulierung des Wasserbedarfs. Die Anlage steht täglich 24 Stunden unter Strom. Durch entsprechenden Wechsel der Maschinen wird die erforderliche Reinigung und Besichtigung der Generatoren und Turbinen erreicht. —

Hochspannungsleitungen. (Primärleitungsnetz.) Die Hochspannungsleitungen sind durchwegs als blanke Luftleitungen verlegt. Für Kraft und Lichtkreis ist je ein Leitungsstrang vorgesehen, an denen die Abzweigungen zu den Transformatoren jeweilen parallel geschaltet sind. Längenausdehnung und Kupferdrahtstärken sind aus dem Leitungsschema der Fig. 22 ersichtlich. — Das Gestänge für die Fernleitung besteht aus imprägnierten Holzstangen von etwa 12 *m* Gesamtlänge bei einer Kopfstärke von durchschnittlich 17 *cm*. Die einzelnen Maste sind etwa 36 *m* von einander entfernt und ungefähr 2 *m* tief in die Erde eingegraben. Alle Stangen tragen Schutzkappen aus Zinkblech. Als Isolator wurde eine Porcellan-Dreifachglocke von 17 *cm* Höhe bei 11 *cm* grösstem Basisdurchmesser gewählt (bezogen aus der *Porcellanfabrik Hermsdorf* in Klosterlausitz, Sachsen), welche mittels des jetzt üblichen „Metallcementes" mit der verzinkten Eisenstütze vergossen ist. Die Isolatorenstützen sind direkt in die Holzstangen eingeschraubt. Die Anordnung der Leitungen auf dem Gestänge ist so getroffen, dass ganz oben die Kraftleitung mit drei Leitern, darunter die Lichtleitung verläuft; die vertikale Entfernung der Leiter beträgt 70—85 *cm*, die Kraftleitung bildet im Querschnitt ein gleichseitiges Dreieck von 70 *cm* Seitenlänge.

Der Drahtschutz für Wegübergänge und Schwachstromkreuzungen ist grösstenteils im Doppelgestänge ausgeführt, derart, dass dabei die Hochspannungsleitungen ringsherum von Schutzdrähten umgeben sind, welche an Erde liegen. Zum Schutze gegen direkten Blitzschlag der Primärleitung sind die Stangen an exponierten Stellen mit Blitzableitern versehen und diese mittels Kupferdraht geerdet. Unterhalb der Primärleitung in etwa 1 *m* Abstand wurde für die Zwecke des Elektricitätswerkes eine eigene Telephonleitung, bestehend aus einer Hin- und Rückleitung aus Siliciumbronzedraht montiert. Durch Kreuzung der Telephondrähte alle 300 *m* ist dafür gesorgt, dass störende Induktionswirkungen aufgeboben werden.

Die Lichtleitung am Hauptgestänge endet nördlich von Bex beim letzten Transformatorenhäuschen. Die Kraftleitung, aus 7,5 *mm* starken Kupferdrähten bestehend, führt für sich allein, das ganze Rhonethal durchquerend, bis zur elektrochemischen Fabrik in Monthey, wo ein Kraftbedarf von etwa 650 *P. S.* für zwei, an die Hochspannung von 5000 Volt

Das Elektricitätswerk in Bex (Waadt).

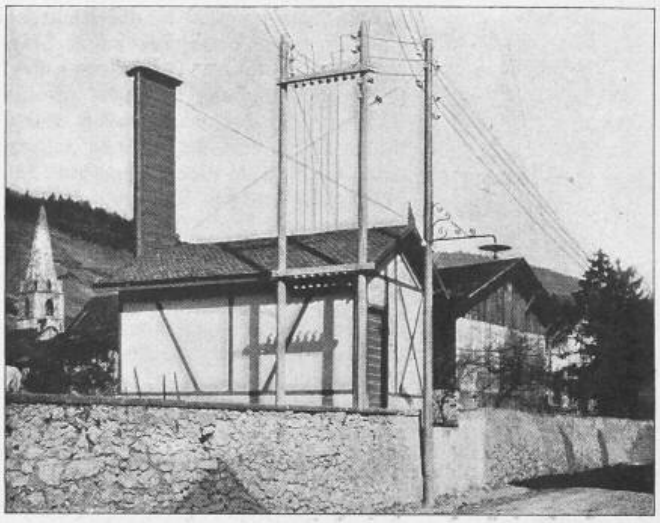


Fig. 20. Ansicht eines Transformatorenhauses.

direkt geschaltete Synchronmotoren von je 300 *P. S.* und verschiedene kleine asynchrone Motoren erforderlich ist. Die Ueberführung dieser Leitung bei der Kreuzung mit der Jura-Simplon-Bahn in der Nähe des Bahnhofes von Bex erfolgt in üblicher Weise mittels solider, auf Beton fundierter Gitterpfeiler. Die mit Blitzableitern versehenen Pylonen und das die Hochspannungsleitungen vollständig umhüllende Drahtschutznetz sind sorgfältig geerdet. Die primäre Lichtleitung ist durchschnittlich für 5 %, maximal für 8 % Verlust, die Kraftleitung für maximal 8 % Verlust berechnet, wobei 500 *kw* allein in Monthey abgegeben werden. Dieser letztere Verlust fällt so gering aus infolge der durch Verwendung der grossen Synchronmotoren bedingten induktionslosen Leistung. Es wird dadurch noch der weitere, nicht zu unterschätzende Vorteil erzielt, dass die Lichttransformatoren für Monthey direkt an die Kraftleitung geschaltet werden können, was bei asynchronen Motoren von dieser grossen Kapacität nicht gut möglich gewesen wäre.

Die genannte Länge der verlegten Hochspannungsleitungen beträgt rund 19,4 *km* einfacher Primärnetzentwickelung, wovon für Licht allein 12 *km* mit 46 *km* Drahtlänge. Das gesamte Kupfergewicht beläuft sich auf 11 *t*. Nimmt man an, dass das verlegte Primärleitungsnetz einen Effekt von 1300 *P. S.* überträgt — bei Vollbelastung und mit den oben angegebenen Verlusten — so erhält man pro Pferdekraft ein Kupfergewicht von 9,2 *kg*, also einen sehr niedrigen Wert.

Zur Speisung der elektrischen Trambahn an der Wagenremise in Bévieux dient eine entlang der im Bau begriffenen Zahnradbahn nach Gryon und Villars provisorisch verlegte Luftleitung, bestehend aus zwei 9 *mm* starken massiven Kupferdrähten, die später auf die Konsolmaste der Kontaktleitung definitiv montiert werden.

Transformatorenstationen. Alle Transformatoren für Licht und Kraft sind einzeln mit den erforderlichen Apparaten in besonderen gemauerten Häuschen untergebracht. Um mit Rücksicht auf die hohe Betriebsspannung das Einführen der Hochspannungsleitungen möglichst zu beschränken, wurde die Zahl der Stationen gering gehalten und mit grössern Kupferquerschnitten in dem Sekundärnetz gerechnet. Die Grösse der in den einzelnen Stationen untergebrachten Transformatoren richtet sich natürlich nach der Bedeutung der einzelnen Ortschaften und giebt hierüber das Leitungsschema