

Nebenspannungen infolge vernieteter Knotenpunkt-Verbindungen eiserner Fachwerk-Brücken: Bericht der Gruppe V der T.K.V.S.B.

Autor(en): **Ros, M.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **79/80 (1922)**

Heft 17

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-38166>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

INHALT: Nebenspannungen infolge vernieteter Knotenpunkt-Verbindungen eiserner Fachwerk-Brücken. — Ueber die Organisation des Unterrichts zur Heranbildung akademischer Techniker im Hinblick auf ihren Tätigkeitskreis. — Miscellanea: Ueber die Korrosion der Nichteisen-Metalle. Simplontunnel. Ueber Frankreichs Hochspannungsnetz. Verspannvorrichtung am Sitterviadukt der B.T. Der Zentralverein für

deutsche Binnenschiffahrt und der deutsche Wasserwirtschafts- und Wasserkraft-Verband. Sicherungs-Arbeiten an der Kathedrale von St. Paul in London. Eisenbahn nach der Insel Sylt. — Nekrologie: A. Huber. L. Kürsteiner. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. Stellenvermittlung.

Band 80.

Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet.

Nr. 17.

Nebenspannungen infolge vernieteter Knotenpunkt-Verbindungen eiserner Fachwerk-Brücken.

Bericht der Gruppe V der T. K. V. S. B.

erstattet von Ing. M. Roß, Baden, Sekretär der T. K. V. S. B.

(Fortsetzung von Seite 181.)

4. Einfluss des veränderlichen Trägheitsmomentes der Fachwerkstäbe.

Hat man die Nebenspannungsmomente unter der Annahme unveränderlichen Trägheitsmomentes der Fachwerkstäbe ermittelt, so geschieht deren Berichtigung infolge veränderlichen Trägheitsmomentes in nachstehender Weise:

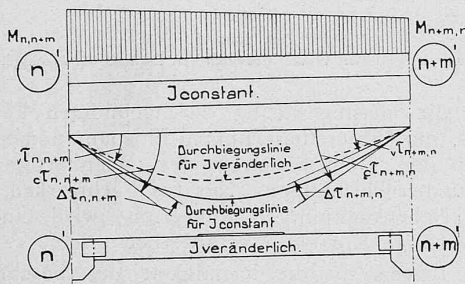


Abbildung 11.

Man ermittelt die elastische Linie der Fachwerkstäbe veränderlichen Trägheitsmomentes indem man die für unveränderliche Trägheitsmomente ermittelten Nebenspannungsmomente auf sie wirken lässt. Der Unterschied in den Endtangentialen $\tau_{n,n+m}$ für veränderliches Trägheitsmoment und $c\tau_{n,n+m}$ für unveränderliches Trägheitsmoment spielt dann die Rolle des $\epsilon_{n,n+m} = \tau_{n,n+m} - c\tau_{n,n+m} = \Delta\tau_{n,n+m}$. Die Ermittlung dieses Einflusses erfolgt weiter nach der unter 3 gegebenen Regel; Abbildung 11.

Der erste Annäherungswert für die Drehung des Knotens n beträgt:

$$\varphi_n = \Delta\tau_{n,n+m} \frac{J_{n,n+m}}{\sum_{n,n+1}^{n,n+m} \frac{J_{n,n+m}}{l_{n,n+m}}} \quad (18)$$

5. Einfluss der Wanderung der Schweraxe.

Infolge der Wanderung der Schweraxe, die sich als Folge der Veränderlichkeit des Querschnittes (Stossdeckungen, Wind- und Querverbandanschlüsse) einstellt, wirkt die Axialkraft — Stabkraft des Fachwerkes — nicht durchwegs zentrisch in der Schweraxe, sondern teilweise auf Hebeln entsprechend der Verschiebung der Schweraxe.

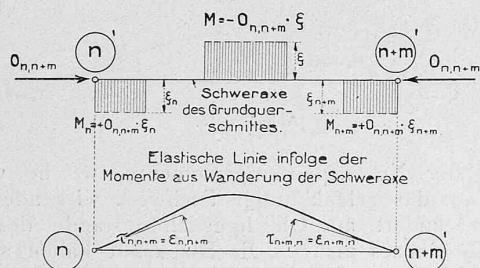


Abbildung 12.

Ermittelt man nach Mohr die elastische Linie der so exzentrisch beanspruchten Fachwerkstäbe, so findet man auch hier wie unter 3 die Endtangentialen $\epsilon_{n,n+m}$ und $\epsilon_{n+m,n}$ und das weitere Verfahren ist genau gleich dem unter 3 entwickelten; Abbildung 12.

Der erste Annäherungswert für den Knotendrehwinkel φ_n beträgt

$$\varphi_n = \tau_{n,n+m} \frac{J_{n,n+m}}{\sum_{n,n+1}^{n,n+m} \frac{J_{n,n+m}}{l_{n,n+m}}} \quad (19)$$

6. Einfluss der durch die Momente der Nebenspannungen verbogenen Stäbe bzw. Einfluss krummer Stäbe.

An Stelle der Hebel infolge Wanderung der Schweraxe treten die Hebelarme herrührend von der infolge der Nebenspannungsmomente verbogenen Stab-Schweraxe oder die Hebelarme der krummen Stäbe bezogen auf die Stabsehne.

W. Ritter in Zürich und Müller-Breslau haben diese Einflüsse eingehend verfolgt und geben Formeln, ersterer auch sehr wertvolle Tabellen, sowohl für gezogene als auch für gedrückte Stäbe. Ganz besonders für gedrückte Stäbe wirkt sich dieser Einfluss spannungsvergrößernd aus und muss für gedrückte schlanke Stäbe, also geringeren Steifigkeitsgrades eingehender verfolgt werden. Die Voraussetzung unter welcher Ritter und Müller-Breslau die Ableitungen geben, nämlich dass sich die Endtangentialen durch den Einfluss der die Momente erzeugenden Längskraft frei ändern können, dass also die Stäben im Knotenblech nicht elastisch eingespannt sind, trifft nicht zu, und es werden infolge der elastischen Einspannung der Stäbe in den Knotenblechen und deren Widerstand gegen freie Drehbarkeit die nach dem Verfahren des T. K. des V. S. B. ermittelten Momente geringer, da das letzt erwähnte Verfahren diese elastische Einspannung berücksichtigt, Abb. 13. Da bei richtig dimensionierten Stäben diese Einflüsse gering sind, verliert der erwähnte Unterschied an Bedeutung.

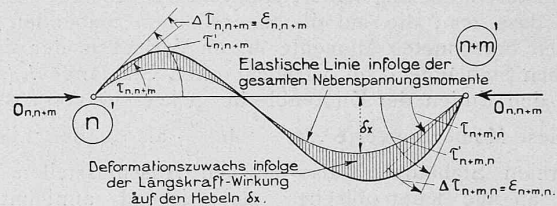


Abbildung 13.

7. Einfluss der durch die Knotenbleche verkürzten theoretischen Stablängen und

8. Einfluss der Nachgiebigkeit der Knotenbleche.

Ersterer Einfluss ist auf die Vergrößerung der Einspannmomente an den Stäben einer der bedeutendsten. Bereits Prof. Mesnager in Paris, und in allerletzter Zeit die Ingenieure Leitz und Tschalyschew haben sich mit dieser, die Einspannmomente vergrößernden Wirkung befasst. Während Leitz die Einspannmomente der Stäben dadurch berücksichtigt will, dass er die an den Enden der theoretischen Stablängen errechneten Momente im umgekehrten Verhältnis der wirklich freien, also zwischen den Enden der Knotenbleche gemessenen Stablängen, zu den theoretischen Stablängen vergrößert, gehen Mesnager und Tschalyschew von der bei Voraussetzung starrer, undeformierbarer Knotenbleche richtigeren Annahme aus, dass die Endtangentialen an den theoretischen Stäben wie errechnet verbleiben und dass der durch die Knotenbleche verkürzte Stab an den Anschlussstellen an die Knotenbleche in seiner Biegelinie diesen Tangenten folgen müsse. Dadurch ergibt sich in vielen Fällen eine ganz wesentliche Vergrößerung der Einspannmomente an den Ausgangs-Enden des freien Stabes.

Bezeichnet man mit l_n die theoretische Stablänge, zwischen den theoretischen als Punkte gedachten steifen

Knoten gemessen, und mit l_k die freie Länge zwischen den Enden der wirklichen, starr vorausgesetzten Knotenbleche, so ergibt sich (Abbildung 14):

$$\alpha_{n,n+m} = \tau_{n,n+m} \left\{ 1 + \frac{\lambda_n}{n l_k} \right\} \quad (20)$$

Die Voraussetzung, dass die Knotenbleche starr, undeformierbar sind, ist unrichtig. Wie bereits erwähnt, sind

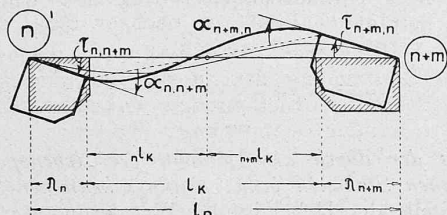


Abbildung 14.

sie in hohem Masse elastisch deformierbar, wie die direkten Drehungsmessungen an den Knotenblechen der *Rhonebrücke der Furkabahn in Brig* und insbesondere die von Ingenieur Wyss durchgeführten zahlreichen Spannungs- und Neigungsmessungen an den Knotenblechen des „Versuchsträgers Wyss“ bewiesen haben.

Die genaue theoretische Verfolgung dieser elastischen Nachgiebigkeit der Knotenbleche ist der verwickelten Verhältnisse wegen unmöglich, handelt es sich doch um die Deformation einer in den verschiedensten Richtungen beanspruchten Platte, die infolge der Stabanschlüsse nach jeder Richtung hin veränderliche Querschnitte aufweist. Nur durch sehr zahlreiche Messungen an den Anschlussstellen der Stäbe an die Knotenbleche wird man Anhaltspunkte über den Einfluss der elastischen Nachgiebigkeit der Knotenbleche schaffen, indem man die gemessenen Nebenspannungen mit den unter der Annahme gänzlich starrer Knotenbleche berechneten vergleicht.

Die bisherigen Versuche nach dieser Richtung hin lassen die Annahme zu, dass die Nachgiebigkeit der Knotenbleche und Nietanschlüsse angenähert dadurch berücksichtigt werden kann, dass man die auf die theoretischen Stabenden bezogenen berechneten Momente M im Verhältnis der theoretischen Stablänge l zur wirklich freien Stablänge l_k (zwischen den Enden der Knotenbleche gemessen) vergrößert und diese Momentenwerte $\tau M_k = \tau M \frac{l}{l_k}$ als an den Enden der freien Stablängen, also an den Anschlussstellen der Stäbe an die Knotenbleche, als wirkend annimmt²¹⁾, Abbildungen 15 und 16.

9. Einfluss der Nebenspannungen auf die Hauptspannung und die Durchbiegungen des Fachwerkes.

Der Einfluss der Nebenspannungen auf die Hauptspannungen und demzufolge auf die Durchbiegungen der Fachwerke ist in den meisten Fällen derart gering, dass man ihn vernachlässigen darf. Betrachtet man als statisch bestimmtes Grundnetz das Fachwerk selbst, jedoch in den Knoten durch völlig reibungslose Gelenke verbunden, und lässt auf dieses Grundnetz an den Enden sämtlicher Fachwerkstäbe die erstberechneten Einspannmomente infolge steifer Knoten angreifen, berechnet die diesen Momenten entsprechenden Auflagerdrücke (Querkraft) für jeden Stab,

²¹⁾ Die auf diese Art ermittelten Momente M_k , am Knotenbleche wirkend, sind nur im Gleichgewicht, wenn für sämtliche im Knoten zusammenlaufende Stäbe das Verhältnis $l:l_k$ das gleiche ist. Sind die Verhältnisse $l:l_k$ verschieden, so ist $\sum M_k$ nicht gleich 0 und es kann eine weitere Berichtigung vorgenommen werden, entweder indem man den Unterschied $\Delta \Sigma M_k = K_n$ setzt und nach Abschnitt 2 verfährt, oder $\Delta \Sigma M_k$ im Verhältnis der Steifigkeiten $J:l$ auf die einzelnen Stäbe verteilt. Ingenieur Wyss, Olten, behandelt in seiner als Forschungsheft des Vereins Deutscher Ingenieure Nr. 262 im Druck sich befindlichen Dissertation (E. T. H. Zürich) „Beitrag zu Spannungsuntersuchung an Knotenblechen eiserner Fachwerke“ auch den Einfluss der elastischen Nachgiebigkeit der Knotenbleche und Stabanschlüsse auf die Grösse der Nebenspannungen und berücksichtigt denselben durch die Einführung eines unelastischen Kerns, eines ideellen undeformierbar gedachten Teiles des Knotenbleches. Dieser starr angenommene Knotenblechkern ist in der Regel kleiner, als das Knotenblech selbst. Die Berücksichtigung dieses unelastischen Kerns, welche einer Vergrößerung der freien, zwischen den Enden der Knotenbleche gemessenen Stablänge gleichkommt, wirkt sich auf die Nebenspannungen spannungsvermindernd aus. Die Schwierigkeit des Wyss'schen Verfahrens liegt in der Einschätzung des unelastischen Kerns.

vereinigt die in jedem Fachwerkknoten wirkenden Auflagerdrücke zu einer Gesamtkraft, *Zusatz-Knotenlast*, lässt die so ermittelten Gesamtkräfte als äussere Kräfte auf das gelenkartige Fachwerk wirken und bestimmt die zugehörigen Stabkräfte, so sind diese Kräfte die Zusatzkräfte des Fachwerkes infolge der steifen Knotenverbindungen (Abbildung 17 auf Seite 189).

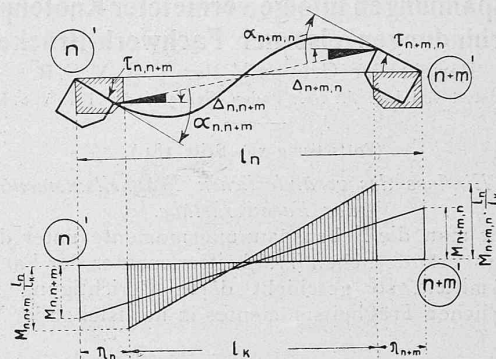


Abbildung 15.

Die schwarz ausgefüllten Winkel bedeuten den Einfluss der Nachgiebigkeit.

Für die meisten richtig durchgebildeten Fachwerke genügt es, nur die erstberechneten Einspannmomente, entsprechend den Deformationen des gelenkartigen Fachwerkes, zu berücksichtigen. Nur bei Fachwerken, die bedeutende Nebenspannungen aufweisen, wird eine zwei- oder mehrmalige Korrektur erforderlich sein.

Der Beweis für die Richtigkeit des beschriebenen Verfahrens ergibt sich auch aus der nachfolgenden Überlegung:

Da die Summe der Nebenspannungsmomente um jeden, und demzufolge auch für die Gesamtheit der Fachwerkknoten = 0 ist, muss auch die Resultante der in den Fachwerkknoten auf die beschriebene Weise ermittelten und wirkenden Zusatzknotenlasten = 0 sein. Die

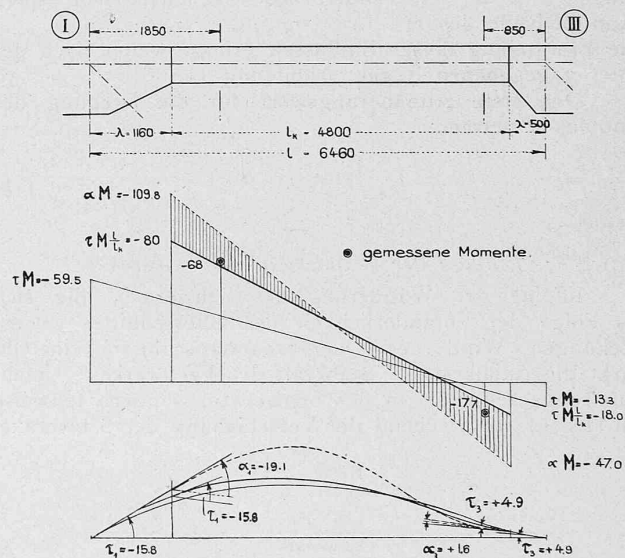


Abbildung 16.

Wirkung der Nebenspannungsmomente, welche wir als äussere, auf das gelenkknotige Fachwerk wirkende Kräfte auffassen, ändert am Gleichgewichtszustand des Fachwerkes als Ganzes nichts. Die Stabkräfte halten sich mit den äussern Lasten im Gleichgewicht; die Stäbe sind genau entsprechend dem steifknotigen Fachwerk verbogen und die Summe der Momente an den Stabenden um jeden Knoten ist = 0. Die innern Kräfte und Deformationen dieses gelenkartigen Fachwerkes aber entsprechen genau dem Spannungszustand und der Formänderung des steifknotigen Fachwerkes. Der Einfluss der Knotensteifigkeit auf

die Stabspannkraften lässt sich somit durch einen den Zusatzknotenlasten entsprechenden Kräfteplan bestimmen.

Der den Zusatzkräften entsprechende Williot'sche Verschiebungsplan gibt folglich den Einfluss der Knotensteifigkeit auf die Durchbiegung in einer beliebigen Richtung. Die Richtigkeit dieses Verfahrens lässt sich mittels der allgemeinen Arbeitsgleichung nachweisen.

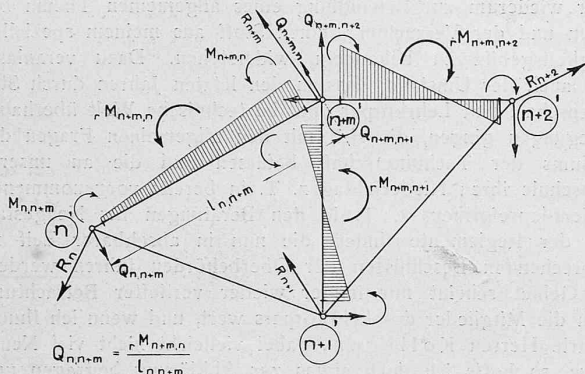


Abbildung 17.

10. Einflusslinien der Nebenspannungen.

Die Einflusslinien für ein Nebenspannungsmoment M ist nach R. Land gleich der Durchbiegungslinie des Lastgurtes für die gegenseitige Drehung der Querschnittenden $= 1$ des an der betreffenden Stelle durchgeschnitten gedachten Stabes $n, n+m$ wo M wirkt, dabei dürfen aber keine anderen gegenseitigen Bewegungen der Enden des Schnittes stattfinden, als die gegenseitige Drehung $= 1$, (Einheit in Bogenmass ausgedrückt). Die praktische Auswertung dieses Satzes, die Ermittlung der Durchbiegungen des Lastgurtes für den Zustand: gegenwärtige Drehung der Querschnittenden der Schnittstelle $= 1$, ist aber verwickelt und zeitraubend.

Die T. K. des V. S. B. hat zur Ermittlung der Einflusslinie für ein Nebenspannungsmoment eines steifknotigen Fachwerkes folgenden Weg eingeschlagen.

Nach Mohr ist für Stäbe konstanten J -Wertes:

$$M_{n,n+m} = \frac{2 E J_{n,n+m}}{l_{n,n+m}} \left\{ 2 \varphi_n + \varphi_{n+m} - 3 \psi_{n,n+m} \right\} \quad (21)$$

Die Einflusslinie für M ist somit bestimmt, sind die Einflusslinien des Stabdrehwinkels $\psi_{n,n+m}$ und der Knotendrehwinkel φ_n und φ_{n+m} bekannt. Da nach Maxwell-Mohr die Biegelinie der lotrechten Durchbiegungen für irgend einen Belastungszustand $M=1$ die Einflusslinie für die Drehung der Stelle, auf welche $M=1$ wirkt, für lotrechte Belastung ist, so bedarf es nur der Ermittlung der Durchbiegungslinien für drei Belastungszustände $M=1$, nämlich:

1. $M=1$ an den Enden des Stabes als Kräftepaar winkelrecht zur Stabaxe wirkend; die Durchbiegungslinie aus diesem Belastungszustand ist die Einflusslinie des Stabdrehwinkels $\psi_{n,n+m}$.

2. $M=1$ als äusseres Moment am Knotenblech n wirkend und

3. $M=1$, als äusseres Moment am Knotenblech $n+m$ wirkend. Die den beiden letzten Belastungszuständen entsprechenden Durchbiegungslinien geben die Einflusslinien der Knotendrehwinkel φ_n und φ_{n+m} .

Die genaue Ermittlung der Biegelinie des Lastgurtes für den Belastungszustand $M=1$, als Kräftepaar an den Stabenden des gelenkknötigen oder steifknötigen Fachwerkes wirkend, geschieht am zweckmässigsten an Hand eines Williot'schen Verschiebungsplanes, während die Biegelinien für die Zustände $M=1$, als äussere Momente an den Knotenblechen selbst wirkend, folgender Ueberlegung bedürfen.

Für den ersten Näherungswert setze man voraus, dass die entgegengesetzten Enden der Stäbe des im Knoten n zusammenlaufenden Stabbuschels gelenkig gelagert seien, bestimme die an den gelenkigen Enden wirkenden Längs- und Querkraften und lasse dieselben als äussere Kräfte am

gelenkartigen Fachwerk wirken. Die aus diesem Belastungszustand sich ergebende Biegelinie des Lastgurtes ist die gesuchte Einflusslinie des Knotendrehwinkels. Da es sich aber genau genommen um die Biegelinie des steifknötigen Fachwerkes handelt, so müsste noch der Einfluss der Knotensteifigkeit auf die Durchbiegung auch der sämtlichen übrigen Knotenpunkte berücksichtigt werden. Dieser Einfluss ist aber bei Fachwerken richtiger konstruktiver Ausbildung, wie unter Punkt 9, nachgewiesen, sehr gering und darf vernachlässigt werden.

Die Bestimmung der an den gelenkig gelagert gedachten Enden des Stabbuschels wirkenden Kräfte ergibt sich aus folgender Ueberlegung:

Ein Stabbuschel mit m -Stäben ist $2m-3$ -fach statisch unbestimmt. Für das statisch bestimmte Grundnetz werden überall, also auch für das Knotenblech, welches die Stäbe im Knoten n vereinigt, Gelenke angenommen und analog der Ueberlegung unter Punkt 9 jeweils die Momentenanteile des Gesamtmomentes M für die einzelnen Stäbe

$$M_{n,n+m} = M \frac{J_{n,n+m}}{\sum_{n,n+1} \frac{J_{n,n+m}}{l_{n,n+m}}} \quad (22)$$

als äussere auf das Stabbuschel wirkende Kräfte aufgefasst. Diese Momente $M_{n,n+m}$ erzeugen an den Stabenden, im Knotenpunkt n selbst und an den anderen gelenkig gestützt gedachten Enden, Querkraften von der Grösse $\frac{M_{n,n+m}}{l_{n,n+m}}$.

Es sind denn nur noch die Axialkräfte der Stäbe zu bestimmen, welche durch die resultierende Wirkung der in Knoten n vereinigten Querkraften entstehen, wodurch das Problem nur noch als $(m-2)$ -fach statisch unbestimmt erscheint, z. B. für ein Stabbuschel mit 5 Stäben von einer $(2m-3) = 7$ -fachen statischen Unbestimmtheit, als nur $(m-2) = 3$ -fach statisch unbestimmt.

Sind die Stäbe des Fachwerkes in den Knoten nicht zentrisch zusammengeführt, so ist in gleicher Weise der Einfluss der Exzentrizitätsmomente zu bestimmen. Dann treten zum Momente $M=1$ noch hinzu die Momente K_n , wachgerufen durch die Exzentrizität der Stabkräfte infolge $M=1$. (Schluss folgt.)

Ueber die Organisation des Unterrichts zur Heranbildung akademischer Techniker im Hinblick auf ihren Tätigkeitskreis.

Rede, gehalten am 9. Oktober 1922 bei der Jahres-Eröffnung der E. T. H. von Prof. Dr. W. Wyssling, Rektor der E. T. H.

Hochgeehrter Herr Schulratspräsident!
Meine Herren Kollegen!
Liebe Studierende!

Zum ersten Male ist es mir vergönnt, in diesem neuen Raume¹⁾ das Studienjahr der E. T. H. zu eröffnen. Doch können wir unser neugestaltetes Haus noch nicht in seiner Gesamtheit den Angehörigen und Gästen der Hochschule vorführen. Die Vollendung durch eine Eröffnungsfeier zu würdigen, wird dem nächsten Jahre vorbehalten bleiben. Zwei Gedanken, die sich mir am heutigen Tage aufdrängen, möchte ich aber dennoch kurz Ausdruck geben:

Unter uns weilt, nachdem er kürzlich das siebente Dezennium seines Lebens vollendet, der Mann, dem wir die Erstehung unserer Neubauten in schlimmer Zeit zum grössten Teil zu danken haben, unser allverehrter Herr Schulratspräsident Dr. R. Gnehm, der es verstanden hat, unsere Oberbehörden von der Notwendigkeit der Erweiterungen zu überzeugen und unverdrossen alle die Widerstände zu beseitigen, die sich ihrer Durchführung unter schwierigsten Verhältnissen entgegenstellten. Ihm dafür unser Aller Dank abzustatten, sei an dieser Stelle unser Erstes. Möge es ihm vergönnt sein, für die E. T. H. auch weiterhin wie bisher in seiner unermüdlichen Art zu wirken, auf dass das Panier unserer Hochschule nur um so kräftiger flattere, je stärker widrige Winde wehen!

¹⁾ Im „Auditorium maximum“ der Hauptbau-Erweiterung.