

Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen

Band: 10 (1950)

Artikel: Zur Berechnung der Vierendeelträgers

Autor: Stüssi, Fritz

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-10589>

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: 23.02.2026

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

Zur Berechnung des Vierendeelträgers

Calcul des poutres Vierendeel

The Calculating of a Vierendeel Girder

Prof. Dr. FRITZ STÜSSI, Generalsekretär für Stahlbau der I.V.B.H.,
Eidg. Technische Hochschule, Zürich

1. Grundsätzliches

Bei der Berechnung hochgradig statisch unbestimmter Tragsysteme nach der Kraftmethode sind in bezug auf die Wahl des statisch bestimmten Grundsystems und der Überzähligen grundsätzlich zwei Forderungen aufzustellen:

Erstens soll die Arbeitsweise des Grundsystems möglichst gut mit der Arbeitsweise des wirklichen Tragwerks übereinstimmen, mit der Einschränkung allerdings, daß das Grundsystem einfach zu berechnen sein soll. Die Überzähligen werden dann das Kräftespiel nur wenig beeinflussen; sie erscheinen als verhältnismäßig kleine Korrekturgrößen, bei deren Berechnung auch gewisse Vereinfachungen als zulässig angesehen werden können. Ist dagegen das Kräftespiel im Grundsystem stark von demjenigen des wirklichen Tragwerks verschieden, so ergeben sich die wirklichen inneren Kräfte als kleine Differenzen großer Größen, deren Bestimmung große Anforderungen an die Rechnungsgenauigkeit stellt.

Die zweite Forderung, die wir an die Berechnung hochgradig statisch unbestimmter Tragsysteme stellen müssen, bezieht sich auf die Wahl der überzähligen Größen. Diese sollen so gewählt werden, daß eine möglichst große Zahl der Vorzahlen a_{ik} des Systems der Elastizitätsgleichungen (Verschiebungsgrößen a_{ik}) verschwinden soll. Die Erfüllung dieser Forderung ist entscheidend für den Zeitaufwand, den die Auflösung dieses Gleichungssystems erfordert.

Der Vierendeelträger, der bei n Feldern $3n$ -fach statisch unbestimmt ist, gehört zweifellos zu den hochgradig statisch unbestimmten Tragsystemen. Eine Berechnung nach der Deformationsmethode erscheint unzweckmäßig, weil die Zahl der unbekannten Stab- und Knotendrehwinkel die Zahl der überzähligen Größen im allgemeinen noch übersteigt. Bei einer ganzen Reihe der zahlreichen bisherigen Vorschläge zur Berechnung dieser Trägerart ist wohl die zweite unserer Forderungen erfüllt, nicht aber die erste. Schneiden wir in jedem Feld die Stäbe einer Gurtung auf, so entsteht der durch die andere

Gurtung gebildete einfache Balken als Grundsystem; durch zweckmäßige Wahl der Angriffspunkte der Überzähligen kann unsere zweite Forderung (Verschwinden einer möglichst großen Zahl von Verschiebungsgrößen a_{ik}) erfüllt werden (Fig. 1) und die Auflösung des Systems der Elastizitätsgleichungen ist verhältnismäßig einfach. Dagegen besitzt dieses Grundsystem den

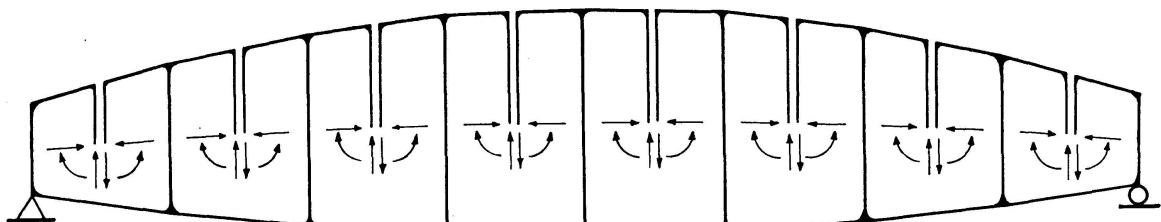


Fig. 1

Nachteil, daß unsere erste Forderung nicht erfüllt ist; da sich Grundsystem und wirkliches Tragwerk extrem verschieden verhalten, muß eine große Rechnungsgenauigkeit bei der Bestimmung der Überzähligen verlangt werden. Allerdings besitzt das Grundsystem der Abbildung 1 den an sich willkommenen Vorteil, daß sein Kräftespiel sehr einfach ist. Dieser Vorteil sollte jedoch nicht durch den Nachteil einer stark empfindlichen Berechnung erkauft werden müssen.

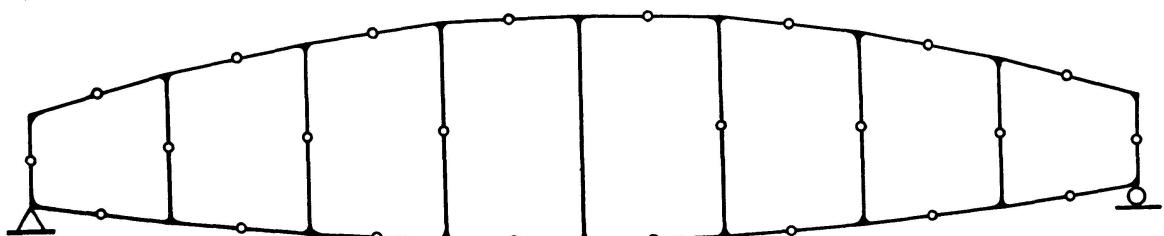


Fig. 2

Andererseits ist schon wiederholt vorgeschlagen worden, den Vierendeelträger näherungsweise als Rahmenträger mit $3n$ Zwischengelenken nach Fig. 2 zu berechnen. Dagegen fehlt meines Wissens (ohne daß ich allerdings behaupten wollte, alle bisher erschienenen Arbeiten über den Vierendeelträger zu kennen) bis heute der Vorschlag, dieses Gelenksystem als Grundsystem für die genaue Berechnung des Vierendeelträgers zu wählen. Wenn wir allerdings als Überzählige einfach die Gelenkmomente in jedem eingeführten Gelenk einführen würden, würde unsere zweite Forderung (Verschwinden möglichst vieler a_{ik}) nicht erfüllt und das Berechnungsverfahren wäre unzweckmäßig. Dagegen gelingt es leicht, auch diese zweite Forderung zu erfüllen, wenn wir als Überzählige nicht die einzelnen Gelenkmomente, sondern passend gewählte Kombinationen davon einführen. Das sich damit ergebende Berechnungsverfahren soll nachstehend skizziert und diskutiert werden.

2. Das Grundsystem

Wir untersuchen zunächst das Kräftespiel im Grundsystem, das dadurch entsteht, daß wir in $3n$ Stäben des normalerweise aus $3n+1$ Stäben bestehenden Tragwerkes je in Stabmitte Gelenke einschalten. Ist das Tragwerk symmetrisch, so ist es zweckmäßig, auch das Grundsystem symmetrisch zu wählen, um die Untersuchung beliebiger Belastungszustände in die Berechnung symmetrischer und antimetrischer Belastungsanteile aufzuteilen und damit die Auflösung des Systems der Elastizitätsgleichungen abkürzen zu können. Für Träger mit gerader Felderzahl ergibt sich somit ein Grundsystem mit gelenklosem Pfosten in Trägermitte. Wir beschränken uns hier auf die Untersuchung eines nur durch lotrechte Einzellasten in den Knotenpunkten belasteten Trägers; die Untersuchung allgemeiner Belastungszustände bietet keine zusätzlichen Schwierigkeiten. Das Kräftespiel ist vollständig bestimmt, sobald wir alle in den Zwischengelenken wirkenden Gelenkkkräfte kennen.

Zeichnerische Bestimmung der Gelenkkkräfte

Das Grundsystem sei durch eine lotrechte Einzellast P an irgend einem Knoten belastet (Fig. 3a). Wir bezeichnen die Gelenke sowie die zugehörigen Gelenkkkräfte mit 1, 2, 3 usw., bzw. mit G_1, G_2, G_3 usw.

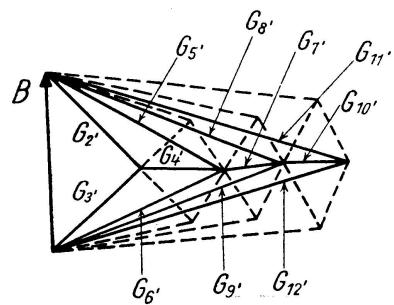
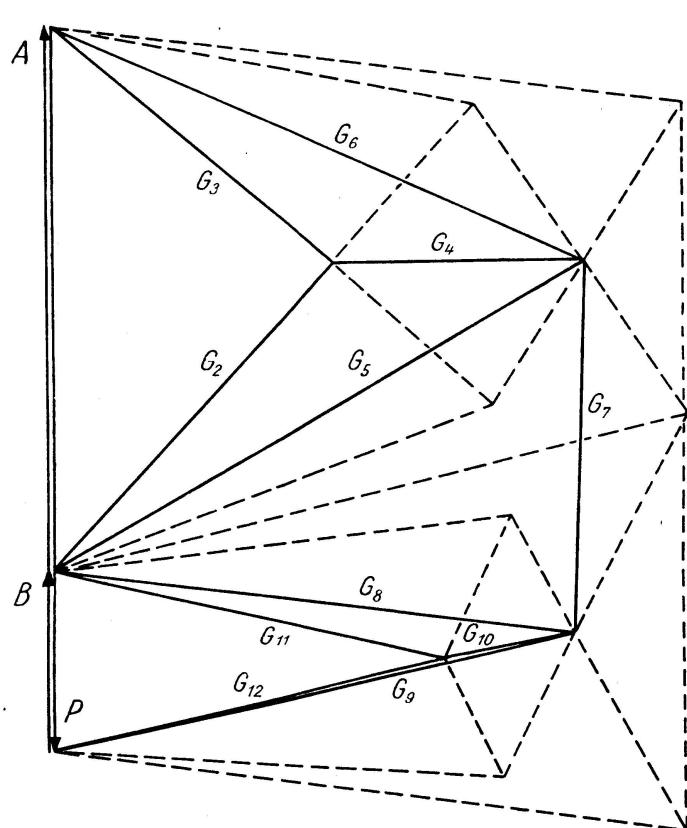
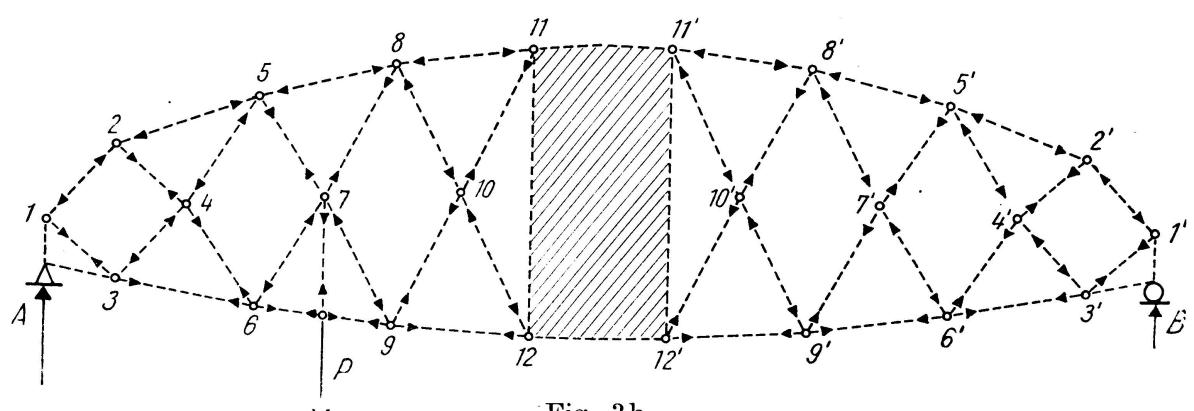
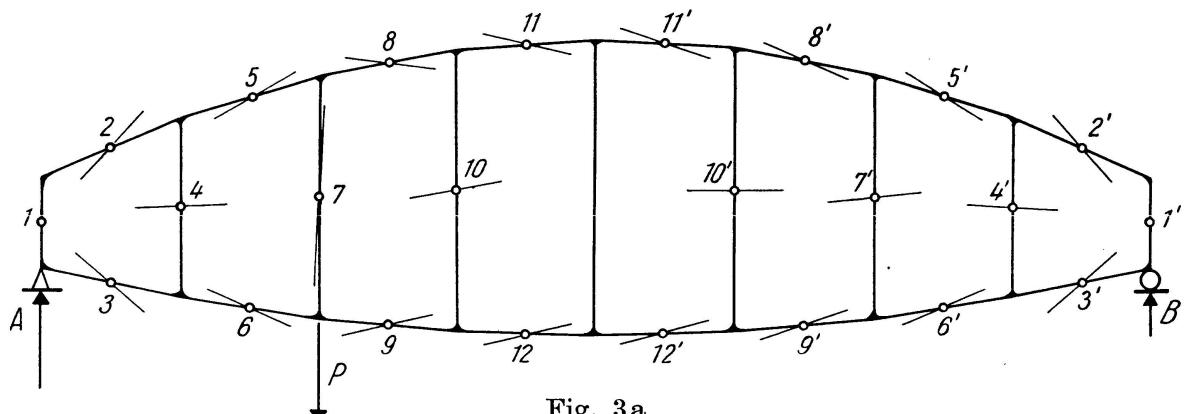
Wohl das einfachste Vorgehen zur zeichnerischen Bestimmung der Gelenkkkräfte dürfte darin bestehen, daß wir unser Grundsystem vorübergehend durch einen rautenförmigen Fachwerkträger mit gleicher Gelenkanordnung (Fig. 3b) ersetzt denken. Die Stabkräfte dieses Ersatzfachwerkes können nun leicht durch einen Cremonaplan, je von beiden Auflagern A und B her beginnend, gezeichnet werden; in diesem Kräfteplan können nun auch direkt die Gelenkkkräfte G je als Resultierende zweier Stabkräfte eingetragen werden. In Fig. 4 ist dieser Kräfteplan dargestellt¹⁾, der Übersichtlichkeit wegen für die linke und rechte Trägerhälfte getrennt.

Rechnerische Bestimmung der Gelenkkkräfte

Wir zerlegen die unbekannten Gelenkkkräfte G in waagrechte und senkrechte Komponenten U und V und betrachten das in Fig. 5 skizzierte Doppellelement. Wir setzen die an den Gelenkpunkten k und l angreifenden Gelenkkkräfte als bekannt voraus und erhalten aus einer Momentengleichgewichtsbedingung bezüglich o die Unbekannte U_n :

$$U_n \cdot h_{m+1} = U_k (h_m + e_l + e_o) - U_l (e_l + e_o) + (V_k + V_l) \cdot (a_m + a_{m+1}) - P_m \cdot a_{m+1} \quad (1)$$

¹⁾ Mein Assistent, Herr Dipl. Ing. H. R. Fietz, unterstützte mich durch die Ausführung der vorkommenden numerischen Berechnungen.



Ist das Tragwerk nur durch lotrechte Lasten belastet, so ist

$$U_k = U_l = \frac{M_l}{h_m},$$

$$V_k + V_l = Q_l,$$

wobei wir mit M_l und Q_l das Moment bezüglich l und die (lotrechte) Querkraft aller links vom Schnitt $l-k$ angreifenden äußeren Kräfte bezeichnen. Damit wird

$$U_n = \frac{1}{h_{m+1}} [M_l + Q_l \cdot (a_m + a_{m+1}) - P_m \cdot a_{m+1}] = \frac{M_o}{h_{m+1}} \quad (1a)$$

Die Unbekannte V_n ergibt sich daraus, daß im Doppellement der Fig. 5 das Gelenkmoment M_m verschwinden muß:

$$U_k (d_m - e_k) - U_n \cdot (d_m + e_n) + V_k \cdot a_m + V_n \cdot a_{m+1} = 0,$$

$$V_n = \frac{1}{a_{m+1}} [U_n \cdot (d_m + e_n) - U_k (d_m - e_k) - V_k \cdot a_m] \quad (2)$$

Analog ergeben sich auch die Kräfte U_o und V_o ; insbesondere ist bei nur lotrechten äußeren Lasten

$$V_o = Q_l - P_m - V_n = Q_o - V_n$$

und

$$U_o = U_n.$$

Die Gelenkkräfte U_m und V_m ergeben sich nun am einfachsten aus zwei Komponentengleichgewichtsbedingungen:

$$U_m = U_n - U_k = U_o - U_l, \quad (3)$$

$$V_m = V_k - V_n = V_o - V_l + P.$$

Die Gelenkkkräfte lassen sich damit schrittweise (am besten tabellarisch) bestimmen, wobei für die linke Trägerhälfte vom linken Auflager und für die rechte Trägerhälfte vom rechten Auflager ausgegangen wird.

Die Bestimmung der Momente, Quer- und Längskräfte in den einzelnen Stäben des Grundsystems ist nun auf einfachste Weise möglich. Fig. 6 veranschaulicht die Momentenfläche zum Belastungsfall der Fig. 3. Da wir die Zwischengelenke je in Stabmitte angenommen haben, verlaufen die Momentenflächen in allen Stäben antimetrisch, was für die Aufstellung der Elastizitätsgleichungen noch von Bedeutung sein wird, weil damit die Vorzahlen a_{ik} sich sehr einfach berechnen lassen.

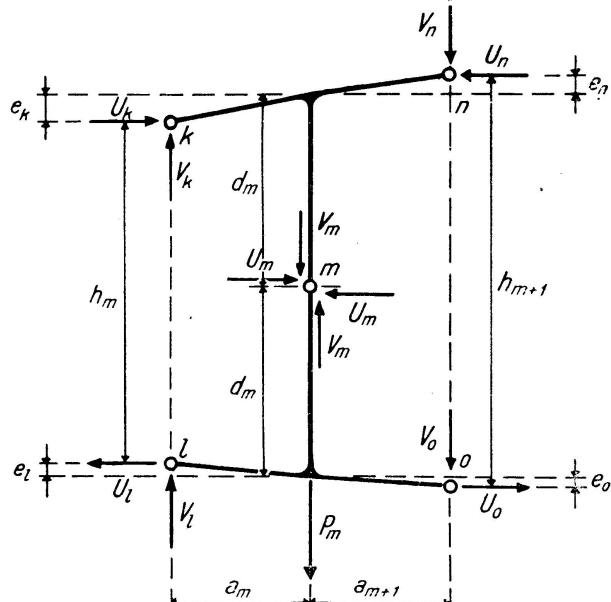


Fig. 5

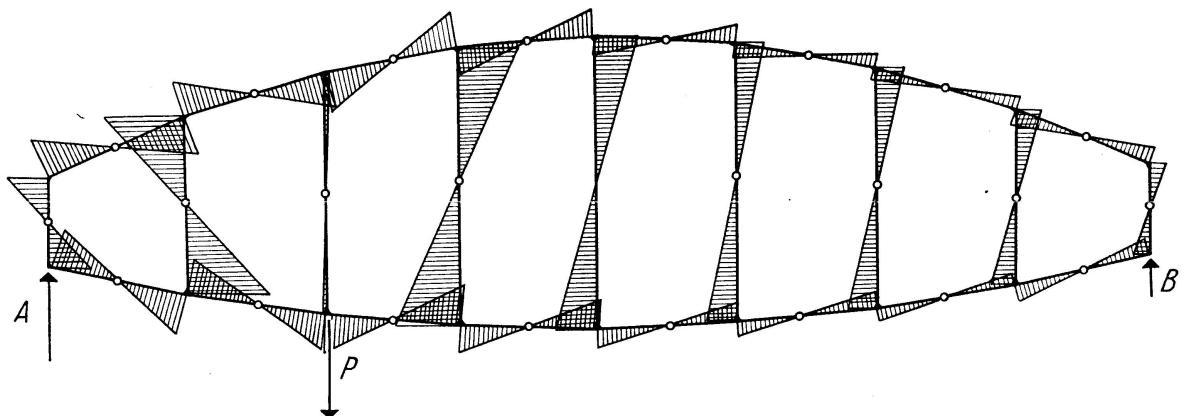


Fig. 6

3. Die überzähligen Größen

Wir haben uns vorgenommen, die überzähligen Größen so zu wählen, daß möglichst viele Verschiebungsgrößen a_{ik} verschwinden. Dies erreichen wir offenbar dann, wenn die Momente, Längs- und Querkräfte infolge einer Überzähligen sich nur über die Stäbe eines einzigen Rahmenfeldes erstrecken. Wir wählen deshalb als Überzählige Kombinationen von Gelenkmomenten, die diese Bedingung erfüllen. Da das Tragwerk $3n$ -fach statisch unbestimmt ist, sind für jedes Rahmenfeld drei überzählige Größen einzuführen, die in Fig. 7 durch ihre Momentenflächen und die an den momentenfreien Gelenkpunkten auftretenden Gelenkkräfte dargestellt sind.

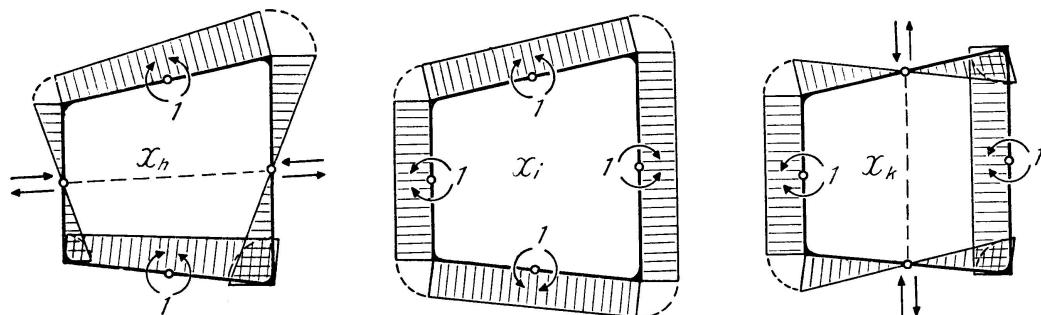


Fig. 7

Setzen wir beispielsweise schlanke Stäbe (was erlaubt, die Vorzahlen a_{ik} nur unter Berücksichtigung des Momenteneinflusses zu berechnen) konstanter Steifigkeit voraus, so setzen sich mit den Bezeichnungen der Fig. 8 die $E \cdot J_c$ -fachen Verschiebungsgrößen aus den folgenden einfach zu ermittelnden Beiträgen zusammen:

$$\Delta a_{10} = \frac{1}{3} M_0 \cdot e \cdot s', \quad \Delta a_{11} = \left(1 + \frac{e^2}{3}\right) \cdot s', \quad \Delta a_{12} = 1 \cdot s',$$

$$\Delta a_{20} = 0,$$

$$\Delta a_{22} = 1 \cdot s',$$

$$\Delta a_{13} = \frac{1}{3} \cdot a \cdot e \cdot s',$$

$$\Delta a_{30} = \frac{1}{3} \cdot M_0 \cdot a \cdot s',$$

$$\Delta a_{33} = \frac{1}{3} \cdot a^2 \cdot s',$$

$$\Delta a_{23} = 0,$$

wobei s' die reduzierte Stablänge,

$$s' = s \cdot \frac{J_c}{J},$$

bedeutet.

Für ein der Balkenmitte mit gelenklosem Pfosten benachbartes Rahmenfeld ergeben sich die gleichen Überzähligkeiten mit den in Fig. 7 skizzierten Momentenflächen.

Nummerieren wir die Überzähligkeiten der aufeinanderfolgenden Felder stets in der Reihenfolge der Fig. 7, so ergibt sich, für die ersten drei Felder in Matrixform angeschrieben, das folgende System der Elastizitätsgleichungen:

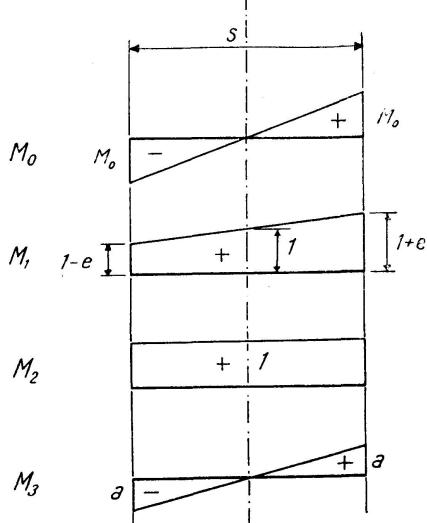


Fig. 8

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9		Bel. Gl.
1	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}							a_{10}
2	a_{21}	a_{22}	a_{23}		a_{25}	a_{26}					a_{30}
3	a_{31}	a_{32}	a_{33}		a_{35}	a_{36}					a_{40}
4	a_{41}			a_{44}	a_{45}	a_{46}	a_{47}				
5		a_{52}	a_{53}	a_{54}	a_{55}	a_{56}		a_{58}	a_{59}		
6		a_{62}	a_{63}	a_{64}	a_{65}	a_{66}		a_{68}	a_{69}		a_{60}
7				a_{74}			a_{77}	a_{78}	a_{79}		a_{70}
8					a_{85}	a_{86}	a_{87}	a_{88}	a_{89}		
9					a_{95}	a_{96}	a_{97}	a_{98}	a_{99}		a_{90}
										usw.	

usw.

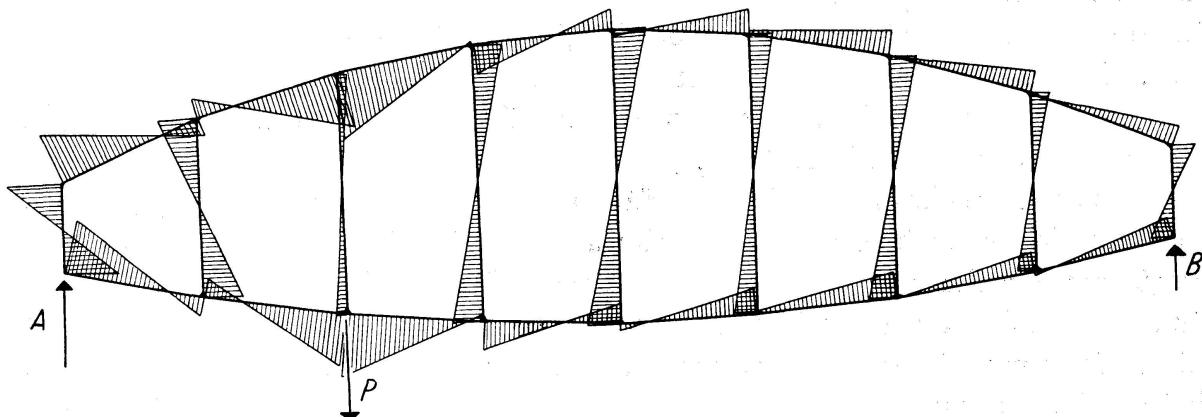


Fig. 9

Ein solches Gleichungssystem läßt sich mit dem abgekürzten Gauß'schen Algorithmus ohne allzu großen Zeitaufwand auflösen. Immerhin wird bei symmetrischen Tragwerken die Aufteilung in symmetrische und antimetrische Lastanteile zweckmäßig sein; es sind dann zwei sich nur je über den halben Träger erstreckende Gleichungssysteme aufzulösen.

Fig. 9 zeigt die Momentenfläche eines durchgerechneten Zahlenbeispiels, bei dem die reduzierten Stablängen für die beiden Gurtstäbe je feldweise gleich groß angenommen wurden. Damit verschwinden die Vorzahlen a_{12} , a_{13} , a_{45} , a_{46} usw. und das System der Elastizitätsgleichungen zerfällt in die folgenden beiden Teilsysteme:

	X_1	X_4	X_7		Bel. Gl.
1	a_{11}	a_{14}			a_{10}
4	a_{41}	a_{44}	a_{47}		a_{40}
7		a_{74}	a_{77}	usw.	a_{70}
usw.					

	X_2	X_3	X_5	X_6	X_8	X_9		Bel.-Gl.
2	a_{22}	a_{23}	a_{25}	a_{26}				
3	a_{32}	a_{33}	a_{35}	a_{36}				a_{30}
5	a_{52}	a_{53}	a_{55}	a_{56}	a_{58}	a_{59}		
6	a_{62}	a_{63}	a_{65}	a_{66}	a_{68}	a_{69}	usw.	a_{60}
8			a_{85}	a_{86}	a_{88}	a_{89}		
9			a_{95}	a_{96}	a_{98}	a_{99}		a_{90}
usw.								

Für $s_o' = s_u'$ verschwinden aber auch die Belastungsglieder a_{30} , a_{60} , a_{90} usw., so daß alle Überzähligen X_2 , X_3 , X_5 , X_6 usw. des zweiten Teilsystems null werden. Für diesen Fall reduziert sich somit die Bestimmung der überzähligen Größen auf die einfache Auflösung des dreigliedrigen ersten Teilsystems der Elastizitätsbedingungen. In dieser wesentlichen Vereinfachung der Berechnung für den praktisch wichtigen Sonderfall $s_o' = s_u'$ dürfte ein weiterer wichtiger Vorteil des gewählten Grundsystems liegen.

Der Vergleich der Fig. 6 und 9 zeigt den Einfluß der Überzähligen auf das Kräftespiel des Vierendeelträgers.

Aus der Berechnung des Trägers für Lasten $P=1$ in den einzelnen Knotenpunkten lassen sich Einflußlinien für alle bei der Bemessung notwendigen statischen Größen zusammensetzen, während für die Berechnung von Formänderungen die normalen Verfahren der Baustatik zur Verfügung stehen. Bei dieser letzteren Aufgabe ist es vorteilhaft, davon Gebrauch zu machen, daß bei der Verwendung der Arbeitsgleichung der Belastungs- oder der Verschiebungszustand eines statisch bestimmten Grundsystems eingeführt werden darf.

4. Besondere Fälle

Bei symmetrischen Vierendeelträgern mit ungerader Felderzahl ist es zweckmäßig, zur Erhaltung der Symmetrie das in Abbildung 10 skizzierte Grundsystem zu wählen.

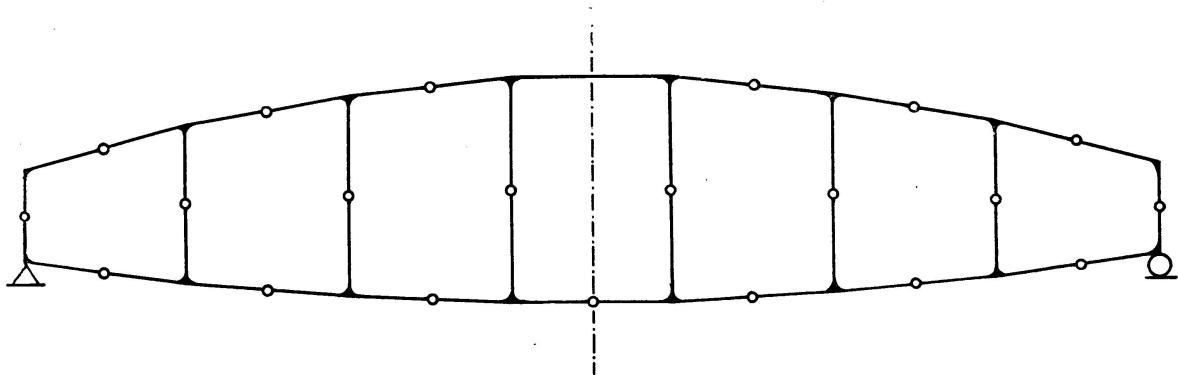


Fig. 10

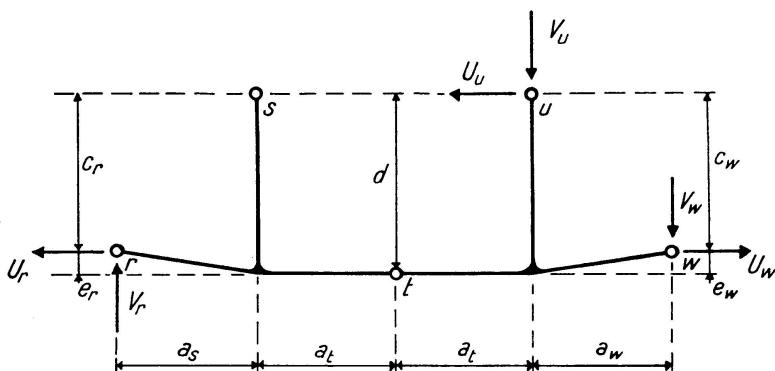


Fig. 11

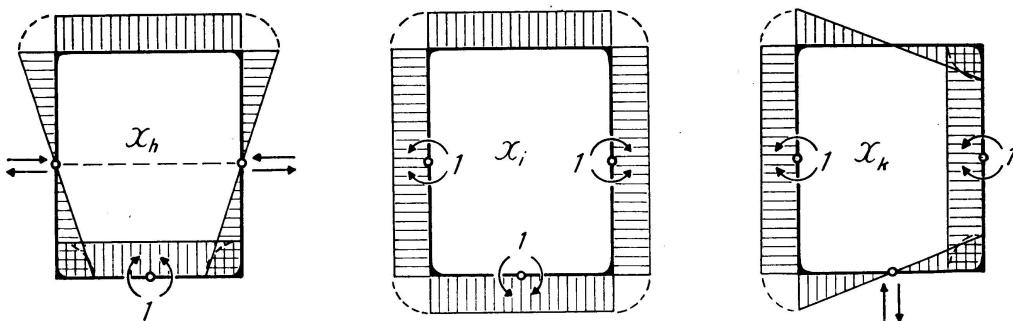


Fig. 12

Zur Bestimmung der Gelenkkkräfte G_s , G_t , G_u im Mittelfeld, bzw. ihrer Komponenten U und V nehmen wir die von beiden Seiten her bestimmbaren Gelenkkkräfte U_r , V_r , U_w und V_w als gegeben an und finden aus einer Momentengleichgewichtsbedingung ($M_s=0$) für das in Fig. 11 skizzierte Doppelement

$$V_u = \frac{1}{a_t} [V_r \cdot a_s + V_w (2 a_t + a_w) + U_r \cdot c_r - U_w \cdot c_w]$$

und durch Betrachtung des Einzelementes $t-u-w$ mit $M_t=0$

$$U_u = \frac{1}{d} [V_w (a_t + a_w) - V_u \cdot a_t + U_w \cdot e_w].$$

Die Kräfte U_s und V_s ergeben sich analog, während die Kräfte U_t und V_t nun aus Komponentengleichgewichtsbedingungen bestimmt werden können.

Die für das Mittelfeld einzuführenden überzähligen Größen sind in Fig. 12 skizziert; sie entsprechen denjenigen der Fig. 7.

Beim in Fig. 13 skizzierten Grundsystem des häufig verwendeten Vierendeelträgers ohne Endpfosten, bei dem die Knotenpunkte einer oder beider Gurtungen auf einer Parabel liegen, fallen im Endfeld die Wirkungslinien der Gelenkkkräfte mit den Gurtstabaxen zusammen; die Bestimmung der Gelenkkkräfte selbst bietet somit keine Besonderheit. Die im Endfeld einzuführenden Überzähligen sind in Fig. 14 skizziert.

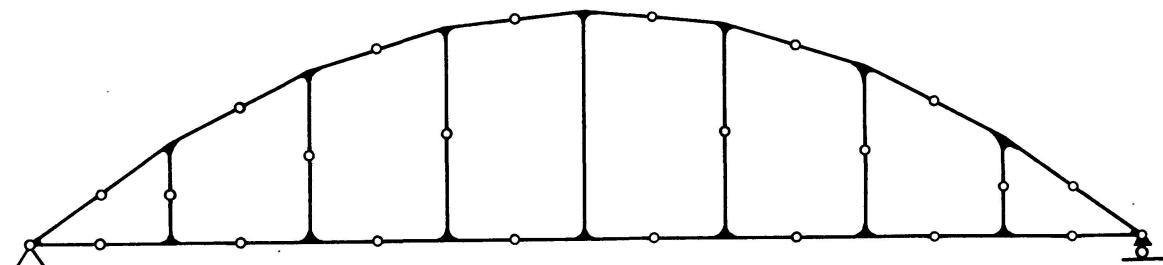


Fig. 13

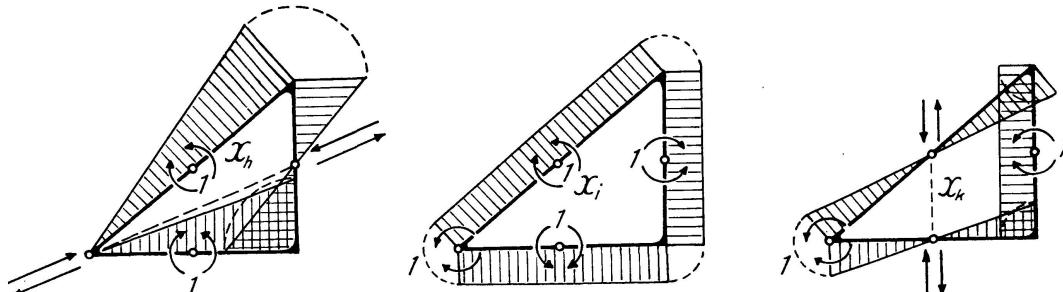


Fig. 14

Dieses System, bei dem die Trägerhöhe mit den Ordinaten der Momentenfläche des einfachen Balkens proportional verläuft, ist im Grundsystem momentenfrei. Im wirklichen Tragwerk entstehen dagegen doch Momente infolge der Stablängenänderungen. Die Bestimmung der Verschiebungsgrößen infolge der Längskräfte und damit der Überzähligen bietet, auf Grund der vorausgehenden Darstellung des Rechnungsganges keinerlei Schwierigkeiten. Ebenso läßt sich auf analoge Weise der Einfluß einer ungleichmäßigen Temperaturänderung bequem untersuchen.

5. Schlußbemerkungen

Mit dem hier vorgeschlagenen Berechnungsverfahren, das bekannte Grundsätze der Baustatik und an sich bekannte Elemente der Berechnungsverfahren zu vereinigen sucht, dürfte der Zeitaufwand für die Berechnung von Vierendeelträgern allgemeiner Formgebung auf ein erträgliches Maß reduziert werden können. Der Vierendeelträger entspricht in seiner Gesamtkonzeption der allgemeinen Entwicklungstendenz des Stahlbaus nach einfachen Bauformen. Es ist wohl anzunehmen, daß diese Trägerart deshalb auch vermehrt angewendet werden wird, sobald Berechnungsverfahren zur Verfügung stehen, die gegenüber früheren Verfahren weniger zeitraubend und in der rechnerischen Genauigkeit weniger empfindlich sind. Eine Unannehmlichkeit der statisch unbestimmten Tragwerke besteht darin, daß die Abmessungen der Bauteile schon zu Beginn der Berechnung einigermaßen bekannt sein müssen; dadurch, daß bei dem vorgeschlagenen Berechnungsverfahren das Kräftespiel im Grundsystem schon eine recht gute Annäherung an das wirkliche Kräftespiel darstellt, können diese Abmessungen durch eine Vorberechnung am für die genaue Berechnung selbst verwendeten statisch bestimmten Grundsystem berechnet werden.

Zusammenfassung

Als Grundsystem zur Berechnung des bei n Feldern $3n$ -fach statisch unbestimmten Vierendeelträgers wird ein Gelenkrahmenträger mit $3n$ Zwischengelenken nach Fig. 2 vorgeschlagen. Das Kräftespiel in diesem Grundsystem, das schon wiederholt für die angenäherte Berechnung des Vierendeelträgers vorgeschlagen wurde, stellt schon eine recht gute Annäherung an das wirkliche Kräftespiel dar, so daß die überzähligen Größen von untergeordneter Bedeutung sind; damit wird die Zuverlässigkeit und Genauigkeit der Rechnung günstig beeinflußt. Als überzählige Größen werden Kombinationen von Gelenkmomenten derart gewählt, daß möglichst viele Vorzahlen a_{ik} der Elastizitätsgleichungen verschwinden; dies führt zur Verminderung des für die Auflösung des Systems der Elastizitätsgleichungen erforderlichen Zeitaufwandes.

Résumé

Pour le calcul des poutres Vierendeel à n travées, $3n$ fois statiquement indéterminées, l'auteur prévoit d'adopter comme système de base une poutre à cadre articulée avec $3n$ articulations intermédiaires, suivant figure 2. Ce système a d'ailleurs déjà été proposé à plusieurs reprises pour le calcul approché des poutres Vierendeel. Le dispositif de forces qu'il fait intervenir représente déjà une bonne approximation du dispositif réel, de sorte que les grandeurs

statiquement indéterminées sont d'importance secondaire; la valeur effective et la précision du calcul en sont favorablement influencées. Le choix des grandeurs indéterminées se porte sur des combinaisons de moments aux articulations, dans des conditions telles qu'un nombre aussi grand que possible de coefficients a_{ik} disparaîsse des équations d'élasticité. Cette manière de procéder permet de réduire le temps nécessaire à la résolution du système de ces équations d'élasticité.

Summary

As basic system for calculating a Vierendeel girder with n panels $3n$ -times statically indeterminate, a hinged frame girder with $3n$ intermediate hinges as shown in fig. 2 is proposed. The action of the forces in this basic system, which has already been repeatedly proposed for the approximate calculation of a Vierendeel girder, represents a really good approximation of the actual action of the forces, so that the redundant magnitudes are of subordinate importance; in this way the reliability and accuracy of the calculation will be favourably affected. As redundant magnitudes, combinations of joint moments are selected in such a way that as many coefficients a_{ik} as possible of the equations of elasticity vanish; this leads to a reduction in the amount of time required for solving the system of equations of elasticity.