



Title	Die Methode der virtuellen Rahmenstäbe und einige Eigenschaften der in der Statik häufig auftretenden linearen Gleichungen
Author(s)	Takabeya, F.
Citation	Memoirs of the Faculty of Engineering, Hokkaido Imperial University, 3, 93-107
Issue Date	1936
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/37702
Type	bulletin (article)
File Information	3_93-108.pdf



[Instructions for use](#)

Die Methode der virtuellen Rahmenstäbe und einige Eigenschaften der in der Statik häufig auftretenden linearen Gleichungen.

Von

Prof. F. TAKABEYA, *Kogakuhakushi*.

(Eingegangen am 15. Juni 1933)

I. Entwicklung der allgemeinen Gleichungen.

Bei der statischen Untersuchung eines hochgradig statisch unbestimmten Systems treten gewöhnlich ebensoviele Elastizitätsgleichungen wie statisch Unbestimmte auf: sie sind linear nach den Unbekannten, und in den einzelnen Gleichungen tritt jedesmal eine Unbekannte besonders stark auf.

Im allgemeinen enthalten n Elastizitätsgleichungen mit n Unbekannten insgesamt n^2 Koeffizienten der Unbekannten und n Festwerte, von denen bei manchen Aufgaben mehrere gleich Null sein können, wodurch die Auflösung in hohem Grade vereinfacht wird.

Betrachten wir die folgenden n Gleichungen mit n Unbekannten:

$$(1) \quad \underline{\xi}_{1.1}X_1 + \xi_{1.2}X_2 + \xi_{1.3}X_3 + \xi_{1.r}X_r + \xi_{1.n}X_n = m_1$$

$$(2) \quad \xi_{2.1}X_1 + \underline{\xi}_{2.2}X_2 + \xi_{2.3}X_3 + \xi_{2.r}X_r + \xi_{2.n}X_n = m_2$$

$$(3) \quad \xi_{3.1}X_1 + \xi_{3.2}X_2 + \underline{\xi}_{3.3}X_3 + \xi_{3.r}X_r + \xi_{3.n}X_n = m_3$$

$$(r) \quad \xi_{r.1}X_1 + \xi_{r.2}X_2 + \xi_{r.3}X_3 + \underline{\xi}_{r.r}X_r + \xi_{r.n}X_n = m_r$$

$$(n) \quad \xi_{n.1}X_1 + \xi_{n.2}X_2 + \xi_{n.3}X_3 + \xi_{n.r}X_r + \underline{\xi}_{n.n}X_n = m_n$$

Für die Auflösung dieser linearen Gleichungsgruppe steht das Eliminationsverfahren und das Iterationsverfahren zur Verfügung.⁽¹⁾

Wenn beispielsweise in dem vorliegenden Gleichungssystem die unterstrichenen Koeffizienten absolut viel grösser sind als die andern Koeffizienten auf der linken Seite, dann ist das Iterationsverfahren mit dem Rechenschieber mit unbedingter Genauigkeit und Sicherheit durchführbar.

Der Übersichtlichkeit halber mögen die Koeffizienten der vorstehenden Gleichungsgruppen folgendermassen tabellenförmig angegeben werden (Tabelle 1):

Tabelle 1.

Gleichung	Linke Seite der Gleichung					Rechte Seite der Gleichung
	X_1	X_2	X_3	X_r	X_n	
(1)	$\underline{\xi}_{1.1}$	$\xi_{1.2}$	$\xi_{1.3}$	$\xi_{1.r}$	$\xi_{1.n}$	m_1
(2)	$\xi_{2.1}$	$\underline{\xi}_{2.2}$	$\xi_{2.3}$	$\xi_{2.r}$	$\xi_{2.n}$	m_2
(3)	$\xi_{3.1}$	$\xi_{3.2}$	$\underline{\xi}_{3.3}$	$\xi_{3.r}$	$\xi_{3.n}$	m_3
(r)	$\xi_{r.1}$	$\xi_{r.2}$	$\xi_{r.3}$	$\underline{\xi}_{r.r}$	$\xi_{r.n}$	m_r
(n)	$\xi_{n.1}$	$\xi_{n.2}$	$\xi_{n.3}$	$\xi_{n.r}$	$\underline{\xi}_{n.n}$	m_n

Bei der Berechnung eines hochgradig statisch unbestimmten Systems zeigen die linken Seiten der Gleichungen (Tabelle 1) eine vollkommene Spiegelsymmetrie in bezug auf die Hauptdiagonalen der Tabellen und die unterstrichenen Koeffizienten $\underline{\xi}$, die besonders gross sind im Verhältnis zu den übrigen Koeffizienten ξ .

(1) Runge und König: Numerisches Rechnen, S. 184; Runge: Praxis der Gleichungen, S. 70; Hertwig: Zeitschrift „Der Eisenbau“ 1917; Hertwig: Festschrift Heinrich Müller-Breslau gewidmet nach Vollendung seines sechzigsten Lebensjahres, S. 37; Pirlet: Zeitschrift „Der Eisenbau“, 1910; Takabeya: Rahmentafeln, S. 28.

Werden die Gleichungen aufgelöst, so erscheinen die Unbekannten X in dieser Form :

$$X_1 = \underline{V}_{1.1}m_1 + V_{1.2}m_2 + V_{1.3}m_3 + V_{1.r}m_r + V_{1.n}m_n$$

$$X_2 = V_{2.1}m_1 + \underline{V}_{2.2}m_2 + V_{2.3}m_3 + V_{2.r}m_r + V_{2.n}m_n$$

$$X_3 = V_{3.1}m_1 + V_{3.2}m_2 + \underline{V}_{3.3}m_3 + V_{3.r}m_r + V_{3.n}m_n$$

$$X_r = V_{r.1}m_1 + V_{r.2}m_2 + V_{r.3}m_3 + \underline{V}_{r.r}m_r + V_{r.n}m_n$$

$$X_n = V_{n.1}m_1 + V_{n.2}m_2 + V_{n.3}m_3 + V_{n.r}m_r + \underline{V}_{n.n}m_n$$

Diese Gleichungen werden in Tabelle 2 entsprechend dargestellt.

Tabelle 2.

	m_1	m_2	m_3	m_r	m_n
X_1	$\underline{V}_{1.1}$	$V_{1.2}$	$V_{1.3}$	$V_{1.r}$	$V_{1.n}$
X_2	$V_{2.1}$	$\underline{V}_{2.2}$	$V_{2.3}$	$V_{2.r}$	$V_{2.n}$
X_3	$V_{3.1}$	$V_{3.2}$	$\underline{V}_{3.3}$	$V_{3.r}$	$V_{3.n}$
X_r	$V_{r.1}$	$V_{r.2}$	$V_{r.3}$	$\underline{V}_{r.r}$	$V_{r.n}$
X_n	$V_{n.1}$	$V_{n.2}$	$V_{n.3}$	$V_{n.r}$	$\underline{V}_{n.n}$

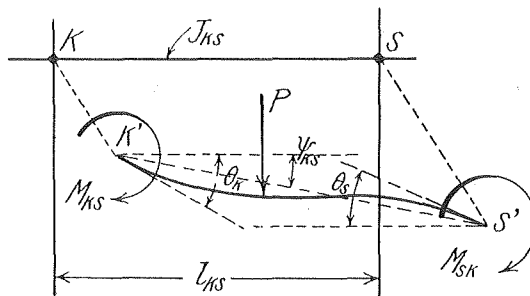


Abb. 1.

Im folgenden wollen wir für die in Tabelle 1 angegebenen Koeffizienten und Festwerte eine technische Bedeutung mit Hilfe der Methode der imaginären oder virtuellen Rahmenstäbe, die der Verfasser hier vorschlagen möchte, unter Berücksichtigung der elastischen Formänderung einführen. Ferner werden wir einige mathematische Eigenschaften der in Tabelle 2 angegebenen Koeffizienten unter Anwendung des Iterationsverfahrens feststellen.

Sind verwickeltere Systeme, wie mehrfeldige und mehrstöckige Rahmen, zu berechnen, so verhilft eine systematische Auswahl der statisch unbestimmten Grössen und ein systematisch aufgebauter Rechnungsgang zu einer bedeutenden Vereinfachung der Aufgabe. Im allgemeinen können wohl bei der Rahmenberechnung Normal- und Querkräfte unbeachtet bleiben. Wenn nur die Biegemomente berücksichtigt werden, ist es in der Regel am einfachsten, die Knotendrehwinkel θ und Stabdrehwinkel ψ als statisch unbestimmbare Grössen einzuführen.⁽¹⁾

Wenn der zu einem Rahmentragwerk gehörige Stab $k-s$, der durch ein Paar sehr nah gelegene Schnitte an den Knotenpunkten k und s begrenzt sei, mit konstantem Trägheitsmoment J_{ks} und konstantem Elastizitätsmodul E durch irgend eine Belastung rechtwinklig zur Stabachse belastet wird, dann gelten unter Verwendung des Mohrschen Satzes die folgenden bekannten Ausdrücke (Abb. 1):

$$(I) \quad \begin{cases} M_{ks} = \xi_{ks} \{ 2X_k + X_s + Y_{ks} \} - \mathfrak{M}_{ks}, \\ M_{sk} = \xi_{sk} \{ 2X_s + X_k + Y_{sk} \} + \mathfrak{M}_{sk}, \end{cases}$$

worin

$$\begin{aligned} \xi_{ks} = \xi_{sk} = \frac{J_{ks}}{l_{ks}}, & \quad X_k = 2E\theta_k, \\ X_s = 2E\theta_s, & \quad Y_{ks} = Y_{sk} = -6E\psi_{ks} \end{aligned}$$

und \mathfrak{M} stellt die negativen Einspannungsmomente des beiderseits eingespannten Trägers dar.

(1) Ostenfeld: Die Deformationsmethode, S. 11; Gehler: Otto Mohr zum achtzigsten Geburtstage, S. 96; Takabeya: Rahmentafeln, S. 3.

Wenn ein symmetrisch gebautes Rahmentragwerk eine symmetrische Belastungsgruppe hat, oder wenn ein Rahmentragwerk für sämtliche Knotenpunkte keine Verschiebung bedingt, dann verschwinden die Stabdrehwinkel für sämtliche Stäbe, und nur die Knotendrehwinkel bleiben als statisch unbestimmte Größen bestehen.

Fällt also in der Gl. (I) der Stabdrehwinkel weg, so lautet die Gl. (I) einfach:

$$(I_a) \quad \begin{cases} M_{ks} = \xi_{ks} \{2X_k + X_s\} - \mathfrak{M}_{ks}, \\ M_{sk} = \xi_{sk} \{2X_s + X_k\} + \mathfrak{M}_{sk}. \end{cases} \quad (1)$$

Um die in Tabelle 1 angegebenen linearen Gleichungen zu entwickeln, führen wir ein in einer Ebene liegendes Rahmentragwerk ein, das tatsächlich oder virtuell sein kann. (Abb. 2).

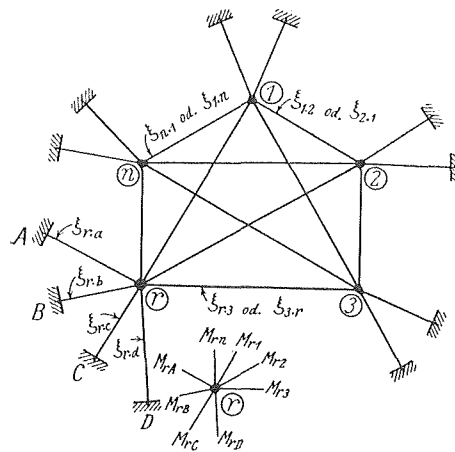


Abb. 2.

Aus dem Gleichgewicht der Schnittmomente am herausgeschnittenen Knoten r (Abb. 2) ergibt sich:

$$\sum M_r = 0$$

(1) Takabeya: Rahmentafeln, S. 3. Berlin: Julius Springer 1930; Ostenfeld: Die Deformationsmethode, S. 11. Gl. (7). Berlin: Julius Springer 1926.

oder

$$M_{r.1} + M_{r.2} + M_{r.3} + M_{r.n} + M_{r.A} + M_{r.B} + M_{r.C} + M_{r.D} = 0 ,$$

wobei

$$M_{r.1} = \xi_{r.1} \{2X_r + X_1\} \pm \mathfrak{M}_{r.1} , \quad M_{r.2} = \xi_{r.2} \{2X_r + X_2\} \pm \mathfrak{M}_{r.2} ,$$

$$M_{r.3} = \xi_{r.3} \{2X_r + X_3\} \pm \mathfrak{M}_{r.3} , \quad M_{r.n} = \xi_{r.n} \{2X_r + X_n\} \pm \mathfrak{M}_{r.n} ,$$

$$M_{r.A} = \xi_{r.a} \{2X_r\} \pm \mathfrak{M}_{r.a} , \quad M_{r.B} = \xi_{r.b} \{2X_r\} \pm \mathfrak{M}_{r.b} ,$$

$$M_{r.C} = \xi_{r.c} \{2X_r\} \pm \mathfrak{M}_{r.c} , \quad M_{r.D} = \xi_{r.d} \{2X_r\} \pm \mathfrak{M}_{r.d}$$

ist.

Damit wird :

$$(II) \quad \xi_{r.1}X_1 + \xi_{r.2}X_2 + \xi_{r.3}X_3 + \underline{\xi_{r.r}}X_r + \xi_{r.n}X_n = m_r$$

worin

$$\underline{\xi_{r.r}} = 2 \left\{ \text{Die Summe aller } \xi, \text{ die sich am Knoten } r \text{ sammeln} \right\} ,$$

$$m_r = \text{Die Summe aller } \mathfrak{M} \text{ am Knoten } r .$$

Wir nennen m_r das Belastungsglied am Knotenpunkt r .

Die beiden Grössen $\underline{\xi_{r.r}}$ und m_r mögen beliebig angegeben werden, wenn man die Grösse $\xi_{r.a}$ bis $\xi_{r.d}$ und die Belastungsglieder passend bestimmt.

Die Gl. (II) ist die allgemeine Knotengleichung in brauchbarer Form zur Berechnung der Unbekannten X .

Diese Gleichungsform kann leicht auswendig gelernt und durch regelmässige Anordnung der Unbekannten mit den entsprechenden Koeffizienten auch leicht angegeben werden.

Am Knoten 1 ergibt sich :

$$\xi_{1,1}X_1 + \xi_{1,2}X_2 + \xi_{1,3}X_3 + \xi_{1,r}X_r + \xi_{1,n}X_n = m_1 .$$

Am Knoten 2 ergibt sich :

$$\xi_{2,1}X_1 + \xi_{2,2}X_2 + \xi_{2,3}X_3 + \xi_{2,r}X_r + \xi_{2,n}X_n = m_2 .$$

Am Knoten n ergibt sich :

$$\xi_{n,1}X_1 + \xi_{n,2}X_2 + \xi_{n,3}X_3 + \xi_{n,r}X_r + \xi_{n,n}X_n = m_n .$$

Die Anzahl der Knotengleichungen ist ebenso gross wie die Anzahl der Knoten oder der zu bestimmenden Knotendrehwinkel.

Der Übersichtlichkeit halber werden die Koeffizienten der Unbekannten der gewonnenen Bestimmungsgleichungen wie in Tabelle 1 angegeben.

Die sämtlichen Koeffizienten und Festwerte in Tabelle 1 haben jetzt eine technische Bedeutung, und die Eigenschaften der linearen Gleichungen, in denen die auf der Hauptdiagonale liegenden Unbekannten besonders stark auftreten, können leicht untersucht werden.

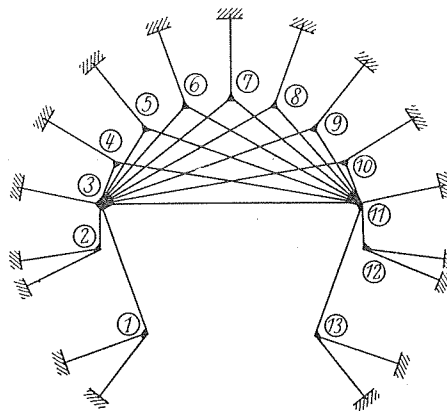


Abb. 3.



II. Methode der virtuellen Rahmenstäbe und Wurzeleigenschaften der linearen Gleichungen.

Wie schon im vorstehenden Paragraphen, so werden die Knotendrehwinkel als Unbekannte gewählt. Die Auflösung dieser linearen Gleichungen liefert die Knotendrehwinkel X als Funktion von Belastungsgliedern m (Tabelle 2).

Um die Wurzeleigenschaften der linearen Gleichungen zu untersuchen, beginnen wir mit der Lösung eines Rahmens, der tatsächlich oder virtuell existieren kann, und dessen Stäbe wir „virtuelle Rahmenstäbe“ nennen.

Gesucht sind die Knotendrehwinkel X_1 bis X_{13} des in Abb. 3 dargestellten Rahmengebildes. Obgleich die Belastungsbedingungen in Abb. 3 nicht dargestellt sind, müssen doch die Belastungsglieder m an allen Knotenpunkten berücksichtigt werden.

Entsprechend der Gleichung (II) erhält man am Knotenpunkt 1:

$$\underline{\xi}_{1.1}X_1 + \xi_{1.3}X_3 = m_1.$$

Am Knotenpunkt 2:

$$\underline{\xi}_{2.2}X_2 + \xi_{2.3}X_3 = m_2.$$

Am Knotenpunkt 3:

$$\begin{aligned} \xi_{3.1}X_1 + \xi_{3.2}X_2 + \underline{\xi}_{3.3}X_3 + \xi_{3.4}X_4 + \xi_{3.5}X_5 + \xi_{3.6}X_6 + \xi_{3.7}X_7 + \xi_{3.8}X_8 \\ + \xi_{3.9}X_9 + \xi_{3.10}X_{10} + \xi_{3.11}X_{11} = m_3 \end{aligned}$$

usw.

Da alle Koeffizienten und Belastungsglieder mit besonderer Berücksichtigung der Stabwerte und Belastungen beliebig angegeben werden können, so sagen wir:

$$\text{Alle } \underline{\xi} = a \quad \text{und} \quad \text{alle } \xi = b,$$

dann ergibt sich:

Am Knotenpunkt 1:

$$(1) \quad aX_1 + bX_3 = m_1.$$

Am Knotenpunkt 2:

$$(2) \quad aX_2 + bX_3 = m_2.$$

Am Knotenpunkt 3:

$$(3) \quad bX_1 + bX_2 + aX_3 + bX_4 + bX_5 + bX_6 + bX_7 + bX_8 + bX_9 \\ + bX_{10} + bX_{11} = m_3$$

usw.

Diese Koeffizienten der Unbekannten der Bestimmungsgleichungen können tabellarisch folgendermassen angegeben werden (Tabelle 3).

Tabelle 3.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	
(1)	a		b											m_1
(2)		a	b											m_2
(3)	b	b	a	b	b	b	b	b	b	b	b			m_3
(4)			b	a							b			m_4
(5)			b		a						b			m_5
(6)			b			a					b			m_6
(7)			b				a				b			m_7
(8)			b					a			b			m_8
(9)			b						a		b			m_9
(10)			b							a	b			m_{10}
(11)			b	b	b	b	b	b	b	b	a	b	b	m_{11}
(12)											b	a		m_{12}
(13)											b		a	m_{13}

In Tabelle 3 tritt, wie schon dargelegt, eine Unbekannte besonders stark auf; in diesem Fall sind die Koeffizienten a absolut viel grösser als die andern Koeffizienten b .

Der Rechnungsverlauf mit dem Iterationsverfahren ergibt sich aus Folgendem: Die ersten, noch grösseren Näherungswerte für die Unbekannten gewinnt man aus Tabelle 3 nach den stark auftretenden Unbekannten aus den Ansätzen:

$$\begin{aligned} aX'_1 + bX'_1 &= m_1, \\ aX'_2 + bX'_2 &= m_2, \\ 10bX'_3 + aX'_3 &= m_3 \quad \text{usw.} \end{aligned}$$

zu

$$\begin{aligned} X'_1 &= m_1 : (a + b), \\ X'_2 &= m_2 : (a + b), \\ X'_3 &= m_3 : (a + 10b) \quad \text{usw.} \end{aligned}$$

Diese ersten Näherungswerte werden in die Gleichungen eingesetzt. Die erste Gleichung (1) in Tabelle 3 lautet dann:

$$aX_1 + bX'_3 = m_1,$$

welche, nach X_1 aufgelöst, den zweiten genaueren Näherungswert X_1'' liefert:

$$X_1'' = \frac{1}{a}(m_1 - bX'_3) = \frac{1}{a} \left\{ m_1 - \frac{bm_3}{(a + 10b)} \right\}.$$

In analoger Weise erhält man aus der zweiten Gleichung (2) in Tabelle 3:

$$aX_2 + bX'_3 = m_2,$$

welche, nach X_2 aufgelöst, den zweiten genaueren Näherungswert X_2'' ergibt:

$$X_2'' = \frac{1}{a} \{ m_2 - bX'_3 \} = \frac{1}{a} \left\{ m_2 - \frac{bm_3}{(a + 10b)} \right\}.$$

Die dritte Gleichung (3) lautet :

$$bX'_1 + bX'_2 + aX_3 + bX'_4 + bX'_5 + bX'_6 + bX'_7 + bX'_8 + bX'_9 + bX'_{10} + bX'_{11} = m_3$$

mit der Lösung X_3'' usw.

Tabelle 4.

Die analogen weiteren Rechnungen sind wie folgt :

$$\begin{aligned} X_1 = & \underline{V}_{1,1}m_1 + V'_{1,2}m_2 - V'_{1,3}m_3 + V'_{1,4}m_4 + V'_{1,5}m_5 \\ & + V'_{1,6}m_6 + V'_{1,7}m_7 + V'_{1,8}m_8 + V'_{1,9}m_9 + V'_{1,10}m_{10} \\ & + V'_{1,11}m_{11} - V'_{1,12}m_{12} - V'_{1,13}m_{13} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_2 = & \underline{V}_{2,1}m_1 + \underline{V}_{2,2}m_2 - V'_{2,3}m_3 + V'_{2,4}m_4 + V'_{2,5}m_5 \\ & + V'_{2,6}m_6 + V'_{2,7}m_7 + V'_{2,8}m_8 + V'_{2,9}m_9 + V'_{2,10}m_{10} \\ & + V'_{2,11}m_{11} - V'_{2,12}m_{12} - V'_{2,13}m_{13} \end{aligned}$$

usw.

In den letzten Gleichungen bedeuten die Koeffizienten \underline{V} die absolut grössten Koeffizienten, V' die nächst grössten Koeffizienten und V'' die kleineren usw.

Hier ist es auch bemerkenswert festzustellen, welche Koeffizienten negativ oder positiv sind; in Tabelle 4 sind die Grössengrade von ungefähr demselben Einfluss und die negativen oder positiven Einflüsse angegeben.

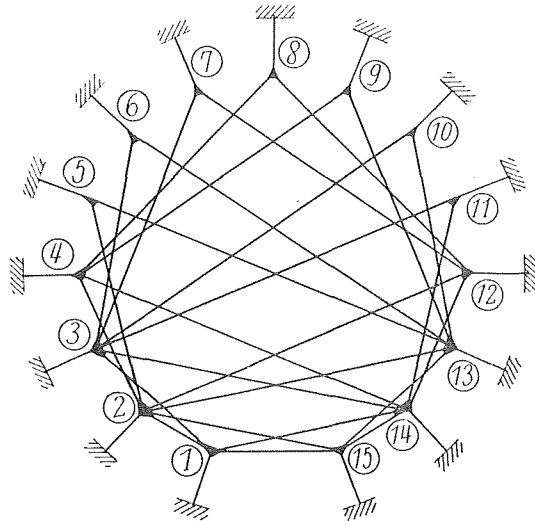


Abb. 4.

Umgekehrt kann man sich aus Tabelle 3 ein Gebilde mit virtuellen Rahmenstäben ausdenken; der in Abb. 3 dargestellte Rahmen ist eines der Rahmengerüste, die die angegebenen Koeffizientenbedingungen vollkommen erfüllen können. Die Kontureigenschaften der Grössengrade in Tabelle 4 werden direkt aus Abb. 3, ohne jegliche Rechnung durch einen Blick nach dem Belastungsglied m an dem in unmittelbarer Nähe gelegenen Knotenpunkt gefunden. Die Entfernung oder die Lage der Belastungsglieder m bestimmt die Einflussgrösse und die positiven oder negativen Einflüsse.

Das in Abb. 4 angegebene Rahmengerüst mit virtuellen Stäben gibt in analoger Weise die Bestimmungsgleichungen mit Unbekannten X_1 bis X_{15} (Tabelle 5_a), die in Tabelle 5_b als Funktionen m_1 bis m_{15} angegeben sind. Ebenso liefert Abb. 5 die Tabelle 6_a und 6_b.

Tabelle 5a.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	
(1)	a	b	b											b	b	m_1
(2)	b	a		b	b							b	b		b	m_2
(3)	b		a			b	b			b	b			b		m_3
(4)		b		a				b	b					b		m_4
(5)		b			a									b		m_5
(6)			b			a								b		m_6
(7)			b				a						b			m_7
(8)				b				a					b			m_8
(9)				b					a					b		m_9
(10)			b							a				b		m_{10}
(11)			b								a				b	m_{11}
(12)		b					b	b					a		b	m_{12}
(13)		b			b	b			b	b				a		b
(14)	b		b	b							b	b			a	b
(15)	b	b												b	b	a

Tabelle 5b.

Aus diesen Beispielen ersieht man, dass die Wurzeigenschaften solch linearer Gleichungen ein nach Gleichungstabellen analogisches Konturbild ergeben von ungefähr denselben, positiven oder negativen Einflüssen, die man direkt aus dem Rahmengebilde entnehmen kann.

Tabelle 6a.

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	
(1)	a	b				b				m_1
(2)	b	a	b		b					m_2
(3)		b	a	b						m_3
(4)			b	a	b				b	m_4
(5)		b		b	a	b		b		m_5
(6)	b				b	a	b			m_6
(7)						b	a	b		m_7
(8)					b		b	a	b	m_8
(9)				b				b	a	m_9

Tabelle 6b.

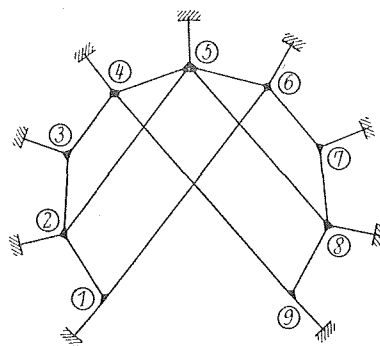


Abb. 5.

	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	m_7	m_8	m_9
X_1	+	-	+	-	+	-	+	-	+
X_2	-	+	-	+	-	+	-	+	-
X_3	+	-	+	-	+	-	+	-	+
X_4	-	+	-	+	-	+	-	+	-
X_5	+	-	+	-	+	-	+	-	+
X_6	-	+	-	+	-	+	-	+	-
X_7	+	-	+	-	+	-	+	-	+
X_8	-	+	-	+	-	+	-	+	-
X_9	+	-	+	-	+	-	+	-	+

Im allgemeinen ist in den Tabellen eine Seite von α -oder \underline{V} -Diagonale symmetrisch zur anderen Seite.* Die Methode der virtuellen Rahmenstäbe ist eine praktische Lösung der in der Statik häufig auftretenden linearen Gleichungen.

* Als Anwendung dieser Tabulierungsmethode zur Berechnung der Rechteckrahmen sieht man die verschiedenen Eigenschaften der Gleichungstabellen in „Rahmentafeln,“ S. 26, Julius Springer, Berlin und in Memoirs Vol. 2, No. 4, 1930.