

$$(1) \begin{cases} \bar{X} = X + \Sigma Y X^y + \Sigma Z X^z \\ \bar{Y} = Y \\ \bar{Z} = Z \\ m_x = \bar{m}_x & n_x = \bar{n}_x \\ m_y = \bar{m}_y + \Sigma X^y \bar{m}_x & n_y = \bar{n}_y + \Sigma X^y \bar{n}_x \\ m_z = \bar{m}_z + \Sigma X^z \bar{m}_x & n_z = \bar{n}_z + \Sigma X^z \bar{n}_x \end{cases}$$

Die endgültigen Momente und Längskräfte können unter Benutzung der X, Y, Z oder der $\bar{X}, \bar{Y}, \bar{Z}$ gebildet werden:

$$(2) \begin{cases} M = \mathfrak{M} + \Sigma X m_x + \Sigma Y m_y + \Sigma Z m_z \\ N = \mathfrak{N} + \Sigma X n_x + \Sigma Y n_y + \Sigma Z n_z \end{cases}$$

$$(2a) \begin{cases} M = \mathfrak{M} + \Sigma \bar{X} \bar{m}_x + \Sigma \bar{Y} \bar{m}_y + \Sigma \bar{Z} \bar{m}_z \\ N = \mathfrak{N} + \Sigma \bar{X} \bar{n}_x + \Sigma \bar{Y} \bar{n}_y + \Sigma \bar{Z} \bar{n}_z \end{cases}$$

\mathfrak{M} und \mathfrak{N} bezeichnen die von der Belastung herrührenden Momente und Längskräfte im statisch bestimmten Grundsystem.

Durch Anbringen der in den Pfosten wirkenden Längskräfte V entsteht aus dem statisch bestimmten System (Bild 1b) das System I. Die Schnittkräfte $V_r (r=1, \dots, n-1)$ müssen mit denen der Endpfosten V_0 und V_n im Gleichgewicht stehen. Es sind also nur $n-1$ Pfostenkräfte unbekannt. Wirkt die Belastung, wie es beim Träger mit geradem Untergurt die Regel ist, nur am Untergurt, so sind im statisch bestimmten Grundsystem die Längskräfte der Endpfosten $\mathfrak{N}_0 = \mathfrak{N}_n = 0$. Greifen Kräfte auch am Obergurt an, so sind \mathfrak{N}_0 und \mathfrak{N}_n als Auflagerdrücke des frei aufliegenden Trägers zu bestimmen.

Um zu dreigliedrigen Gleichungen zu gelangen, werden die Unbekannten V_r zu Gruppen X_r zusammengefaßt, deren Selbstspannungszustand $X_r = 1$ in Bild 1c dargestellt ist. Danach lauten die Bestimmungsgleichungen der X :

$$(3) \begin{cases} 4 X_1 + X_2 = -\frac{\alpha}{1+\alpha} [\mathfrak{M}_0 + 4 \mathfrak{M}_1 + \mathfrak{M}_2] \\ X_{r-1} + 4 X_r + X_{r+1} = -\frac{\alpha}{1+\alpha} [\mathfrak{M}_{r-1} + 4 \mathfrak{M}_r + \mathfrak{M}_{r+1}] \\ X_{n-2} + 4 X_{n-1} = -\frac{\alpha}{1+\alpha} [\mathfrak{M}_{n-2} + 4 \mathfrak{M}_{n-1} + \mathfrak{M}_n] \end{cases}$$

Die allgemeine Lösung dieser Differenzgleichung zweiter Ordnung ist:

$$(4) X_r = C_1 k_1^r + C_2 k_2^r - \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot \mathfrak{M}_r,$$

wobei k_1 und k_2 die Wurzeln der charakteristischen Gleichung $k^2 + 4k + 1 = 0$ und C_1, C_2 Konstante sind, die aus den Randbedingungen bestimmt werden können. Da $k_1 k_2 = 1$, kann man die Lösung auch mit nur einem Wurzelwert ansprechen:

$$(4a) X_r = C_1 k^r + C_2 k^{-r} - \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot \mathfrak{M}_r.$$

Sind die Momente $\mathfrak{M}_0 = \mathfrak{M}_n = 0$ oder wirken sie mit solchen Werten am Ober- und Untergurt, daß sie sich im Belastungsglied der Randgleichungen aufheben, so verschwinden die Konstanten C_1 und C_2 , und

$$(4b) X_r = -\frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot \mathfrak{M}_r$$

ist die vollständige Lösung der Differenzgleichung. Die Momente des einfachen Balkens verteilen sich im Verhältnis von $\alpha:1$, bei parallelen Gurten also im Verhältnis der Trägheitsmomente auf Ober- und Untergurt. Zum gleichen Ergebnis gelangt man bekanntlich, wenn man die Durchbiegungen des Ober- und Untergurtes gleich setzt. Diese Art der Momentenverteilung wird aber gestört, wenn die Belastung an einem auskragenden Gurt angreift, da dann die Konstanten nicht $= 0$ werden. Ihr Einfluß erstreckt sich allerdings nur über eine geringe Felderzahl in der Nähe der Auflager.

Mit den Unbekannten X sind auch die Gurtmomente im System I gegeben.

$$(5) \begin{cases} \text{Obergurt: } M_{r,0}^I = -X_r \dots \left[\frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot \mathfrak{M}_r \right]^2 \\ \text{Untergurt: } M_{r,n}^I = \mathfrak{M}_r + X_r \dots \left[\frac{1}{1+\alpha} \cdot \mathfrak{M}_r \right]^2 \end{cases}$$

Längskräfte treten nur in den Pfosten auf:

$$(6) \begin{cases} V_0^I = \mathfrak{V}_0 + \frac{1}{\lambda} \cdot X_1 \dots \left[\mathfrak{V}_0 - \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot \mathfrak{M}_1 \right]^2 \\ V_r^I = \frac{1}{\lambda} (X_{r-1} - 2 X_r + X_{r+1}) \dots \\ \left[-\frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\alpha}{1+\alpha} (\mathfrak{M}_{r-1} - 2 \mathfrak{M}_r + \mathfrak{M}_{r+1}) \right]^2 \\ V_n^I = \mathfrak{V}_n + \frac{1}{\lambda} \cdot X_{n-1} \dots \left[\mathfrak{V}_n - \frac{1}{\lambda} \cdot \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot \mathfrak{M}_{n-1} \right]^2 \end{cases}$$

An dem so berechneten System I lassen wir die restlichen unbekannt Schnittkräfte (Querkräfte H und Momente M) angreifen. Die Querkräfte sind durch die Bedingung „Summe aller Horizontalkräfte $= 0$ “ miteinander

verknüpft, während die Momente unabhängig voneinander sind. Es sind demnach n Querkräfte H und $n+1$ Momente M zu ermitteln; die Gesamtzahl der Unbekannten ist somit $3n$. Die Unbekannten H und M werden gruppenweise zu neuen Unbekannten Y und Z derart zusammengefaßt, daß möglichst einfache Selbstspannungszustände entstehen.

Bezüglich der Y ist zu bemerken, daß die aus den waagerechten Schnittkräften zweier benachbarter Pfosten gebildeten Lastengruppen für sich nicht im Gleichgewicht stehen; es müssen deshalb noch Pfosten-Längskräfte solcher Größe hinzugefügt werden, daß die Resultierende aus diesen und den Querkräften in die Verbindungslinie der Gelenkpunkte fällt.

Im allgemeinen Falle gelingt es nicht, die Gelenklage so zu wählen, daß sich voneinander unabhängige Gleichungssysteme Y und Z ergeben, wenn man nicht die Pfosten als starr annimmt (Stammwerte Engesbers). Man kann sie aber so wählen, daß die X durch die Y nicht beeinflusst werden ($X^y = 0$). Das trifft zu für

$$(7) v_r = \frac{1}{1+\alpha} \cdot h_r.$$

Dann ist der Selbstspannungszustand $Y_r = 1$ identisch mit dem für $V_r = 1$ (Bild 1e).

Der auf das System I bezogene Selbstspannungszustand $Z = 1$ läßt sich aus dem auf das statisch bestimmte Grundsystem bezogenen $\bar{Z} = 1$ (Bild 1f) entwickeln. Die infolge $Z_r = 1$ im System I entstehenden X -Werte — sie werden der Einfachheit halber mit X_i^r statt mit X_i^{Zr} bezeichnet — können aus Gl. 3 berechnet werden, wenn dort \mathfrak{M} durch die dem Selbstspannungszustand $\bar{Z}_r = 1$ entsprechenden Momente ersetzt wird. Man erkennt, daß alle Gleichungen mit Ausnahme der auf die Punkte $r-1$ und r bezogenen homogen werden.

$$(8) \begin{cases} 4 X_1^r + X_2^r = 0 \\ X_{r-3}^r + 4 X_{r-2}^r + X_{r-1}^r = 0 \\ X_{r-2}^r + 4 X_{r-1}^r + X_r^r = -3 \\ X_{r-1}^r + 4 X_r^r + X_{r+1}^r = -3 \\ X_r^r + 4 X_{r+1}^r + X_{r+2}^r = 0 \\ X_{n-2}^r + 4 X_{n-1}^r = 0 \end{cases}$$

Ihre allgemeine Lösung ist:

$$(9) \begin{cases} X_i^r = C_1 k^i + C_2 k^{-i} \dots i \leq r-1 \\ X_i^r = C_3 k^i + C_4 k^{-i} \dots i \geq r \end{cases}$$

Die Konstanten bestimmen sich durch Einsetzen der Lösungen in die Rand- und Übergangsgleichungen 1, $n-1$, $r-1$ und r . Damit erhalten wir die endgültigen Lösungen:

$$(10) \begin{cases} X_i^r = \frac{3 k^{r-i} (1 - k^{2(n-r)+1}) (1 - k^{2i})}{(1-k)(1-k^{2n})} \dots i \leq r-1 \\ X_i^r = \frac{3 k^{i-r+1} (1 - k^{2r-1}) (1 - k^{2(n-i)})}{(1-k)(1-k^{2n})} \dots i \geq r \end{cases}$$

Wenn wir für k die Wurzel mit dem kleineren Absolutwerte wählen, also $k = -0,26795$, so können wir unter der Voraussetzung, daß mit Rücksicht auf die Symmetrie des Systems die Formeln nur bis $r \leq 1/2 n$ verwendet werden, und $n > 5$ ist,

$$k^{2n} = k^{2(n-r)+1} = k^{2(n-i)} = 0$$

setzen und erhalten die vereinfachten Ausdrücke:

$$(10a) \begin{cases} X_i^r = \frac{3(k^{r-i} - k^{r+i})}{1-k} \dots i \leq r-1 \\ X_i^r = \frac{3(k^{i-r+1} - k^{i+r})}{1-k} \dots i \geq r \end{cases}$$

In der folgenden Tafel 1 sind die X_i^r -Werte zusammengestellt.

Tafel 1.
 $X_i^r \dots n > 5.$

$i \backslash r$	1	2	3	4	5	
1	-0,804	-0,589	+0,158	-0,042	+0,011	$n-1$
2	+0,215	-0,646	-0,631	+0,169	-0,045	$n-2$
3	-0,058	+0,173	-0,635	-0,634	+0,170	$n-3$
4	+0,016	-0,046	+0,170	-0,634	-0,634	$n-4$
5	-0,004	+0,012	-0,046	+0,170	-0,634	$n-5$
6		-0,003	+0,012	-0,045	+0,170	$n-6$
7			-0,003	+0,012	-0,045	$n-7$
8				-0,003	+0,012	$n-8$
9					-0,003	$n-9$
	n	$n-1$	$n-2$	$n-3$	$n-4$	i

²⁾ []-Ausdrücke gelten unter den gleichen Bedingungen wie Gl. (4b).

Mit den X_i^r ergeben sich die zum Selbstspannungszustande $Z_r = 1$ gehörigen Momente in den Gurten $z_i^r = m_{z_r, i}$ mit folgenden Werten:

$$(11) \begin{cases} z_i^r = + X_i^r & \text{in allen Feldern mit Ausnahme des } r\text{-ten} \\ z_i^r = + |1 + X_i^r| & \text{im } r\text{-ten Felde.} \end{cases}$$

Das obere Vorzeichen gilt für den Obergurt, das untere für den Untergurt. In Bild 1h sind die z_i^r eingetragen.

Aus den unbekanntnen Momenten der Schnittflächen lassen sich nach dem gleichen Bildungsgesetze nur n Unbekannte Z_r ($r=1 \dots n$) darstellen. Die fehlende Unbekannte Z_0 muß unabhängig von den Z_r sein. Das ist nur bei der durch den Selbstspannungszustand $Z_0 = 1$ dargestellten Gruppe der Fall (Bild 1g). $Z_0 = 1$ erzeugt im System I X -Werte $X_i^0 = X_i^{Z_0}$, die aus Gl. 3 berechnet werden können, wenn man für \mathfrak{M} die $Z_0 = 1$ entsprechenden Momente $\mathfrak{M}_i = + \left| 1 - \frac{2}{n} \cdot i \right|$ einsetzt.

Damit lauten die Bestimmungsgleichungen der X_i^0 :

$$(12) \begin{cases} 4 X_1^0 + X_2^0 = -6 + \frac{12}{n} \\ X_{i-1}^0 + 4 X_i^0 + X_{i+1}^0 = -6 + \frac{12i}{n} \\ X_{n-2}^0 + 4 X_{n-1}^0 = -6 + \frac{12(n-1)}{n} \end{cases}$$

Ihre vollständige Lösung ist:

$$(13) X_i^0 = C_1 k^i + C_2 k^{-i} - 1 + \frac{2i}{n}$$

Aus den Randbedingungen folgen die Konstanten

$$C_1 = \frac{1}{1 - k^n} \approx 1 \quad C_2 = -\frac{k^n}{1 - k^n} \approx -k^n$$

Für die infolge $Z_0 = 1$ im System I hervorgerufenen Momente finden wir also folgenden Ausdruck:

$$(14) z_i^0 = \mp \left| 1 - \frac{2i}{n} \right| \mp X_i^0 = \mp [k^i - k^{n-i}]$$

Dabei gilt wieder das obere Vorzeichen für den Obergurt, das untere für den Untergurt. Diese Werte z_i^0 sind in Bild 1i zum Selbstspannungszustande $Z_0 = 1$ eingetragen.

Die Momente z_i^r klingen, wie aus der Tafel 1 ersichtlich ist, nach beiden Seiten vom r -ten Feld rasch ab; ebenso werden auch die z_i^0 gegen die Trägermitte zu immer kleiner.

Aus den Selbstspannungszuständen der Bilder 1e bis 1i lassen sich die Elastizitätsgleichungen in bekannter Weise ableiten.

$$(15) \begin{cases} a_{1,1} Y_1 + a_{1,2} Y_2 + \frac{1-\alpha}{2(1+\alpha)} [b_{1,1} Z_1 + b_{1,2} Z_2] \\ - \frac{(1-\alpha)}{2(1+\alpha)} \cdot \delta_1^0 h_0^2 Z_0 = \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot \frac{\lambda}{6} [c_{1,0} \mathfrak{M}_0 + c_{1,1} \mathfrak{M}_1] \\ a_{r,r-1} Y_{r-1} + a_{r,r} Y_r + a_{r,r+1} Y_{r+1} \\ + \frac{1-\alpha}{2(1+\alpha)} [b_{r,r-1} Z_{r-1} + b_{r,r} Z_r + b_{r,r+1} Z_{r+1}] \\ = \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot \frac{\lambda}{6} [c_{r,r-1} \mathfrak{M}_{r-1} + c_{r,r} \mathfrak{M}_r] \\ a_{n,n-1} Y_{n-1} + a_{n,n} Y_n + \frac{1-\alpha}{2(1+\alpha)} [b_{n,n-1} Z_{n-1} + b_{n,n} Z_n] \\ - \frac{1-\alpha}{2(1+\alpha)} \cdot \delta_n^0 h_n^2 Z_0 = \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot \frac{\lambda}{6} [c_{n,n-1} \mathfrak{M}_{n-1} + c_{n,n} \mathfrak{M}_n] \end{cases}$$

$$(16) \begin{cases} \frac{1-\alpha}{2(1+\alpha)} [d_{1,1} Y_1 + d_{1,2} Y_2] + e_{1,1} Z_1 + e_{1,2} Z_2 + e_{1,3} Z_3 \\ + \dots + f_1 Z_0 = 0 \\ \frac{1-\alpha}{2(1+\alpha)} [d_{r,r-1} Y_{r-1} + d_{r,r} Y_r + d_{r,r+1} Y_{r+1}] \\ + \dots + e_{r,r-2} Z_{r-2} + e_{r,r-1} Z_{r-1} + e_{r,r} Z_r \\ + e_{r,r+1} Z_{r+1} + e_{r,r+2} Z_{r+2} + \dots + f_r Z_0 = 0 \\ \frac{1-\alpha}{2(1+\alpha)} [d_{n,n-1} Y_{n-1} + d_{n,n} Y_n] + \dots + e_{n,n-2} Z_{n-2} \\ + e_{n,n-1} Z_{n-1} + e_{n,n} Z_n + f_n Z_0 = 0 \end{cases}$$

$$(17) \begin{cases} \frac{1-\alpha}{2(1+\alpha)} \cdot \delta_0^0 h_0 (Y_n - Y_1) + \delta_0^0 h_0 (Z_1 - Z_n) \\ + (1+\alpha) \frac{\lambda}{2} \sum_1^n g_i Z_i + \left[2 \delta_0^0 h_0 + (1+\alpha) \frac{\lambda}{6} \sum_1^n l_i \right] Z_0 = 0 \end{cases}$$

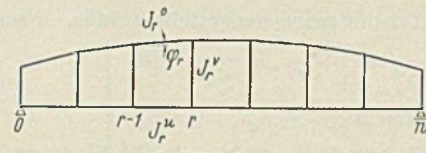


Bild 1a.

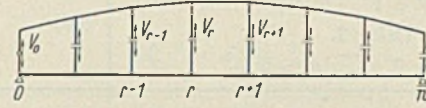


Bild 1b.

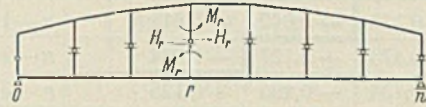
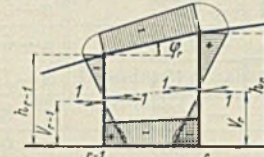


Bild 1d.



$$\begin{aligned} Y_r = 1 & \quad \bar{Y}_r = 1 \\ \text{Längskraft:} & \quad \text{tg } \varphi_r \cdot \sin \varphi_r \\ \text{Obergurt:} & \quad \left(\cos \varphi_r + \frac{\text{tg } \varphi_r}{1 + \alpha} \right) \\ \text{Untergurt:} & \quad +1 \\ \text{Pfosten:} & \quad \mp \frac{\text{tg } \varphi_r}{1 + \alpha} \dots r-1 \end{aligned}$$

Bild 1e.

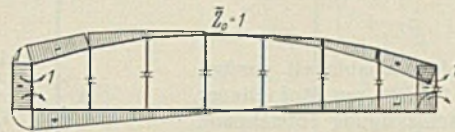


Bild 1g.

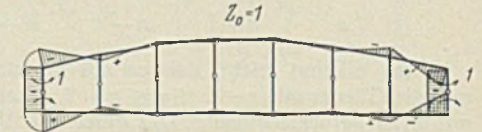


Bild 1i.

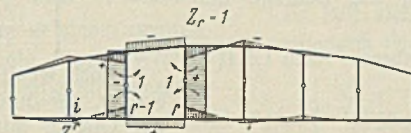


Bild 1h.

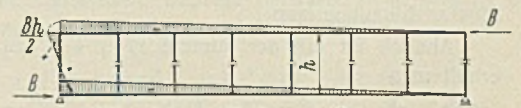


Bild 1k.

Gl. (16) u. (17) werden immer homogen, wenn entweder $\mathfrak{M}_0 = \mathfrak{M}_n = 0$ ist oder diese Momente sich im Verhältnis von $\alpha : 1$ auf Ober- und Untergurt aufteilen.

Die Beiwerte der obigen Gleichung sind durch folgende Ausdrücke gegeben:

$$(18) \begin{cases} a_{r,r-1} = -\frac{1+\alpha^3}{3(1+\alpha)^3} \cdot \delta_r^{r-1} h_{r-1}^3 \\ a_{r,r} = \frac{1+\alpha^3}{3(1+\alpha)^3} (\delta_r^{r-1} h_{r-1}^3 + \delta_r^r h_r^3) \\ + \frac{\lambda}{3} \cdot \frac{\alpha}{1+\alpha} (h_{r-1}^2 + h_{r-1} h_r + h_r^2) + \lambda (\beta_r + \gamma_r) \\ a_{r,r+1} = -\frac{1+\alpha^3}{3(1+\alpha)^3} \cdot \delta_r^r h_r^3 \\ b_{r,r-1} = \delta_r^{r-1} h_{r-1}^2 \\ b_{r,r} = -(\delta_r^{r-1} h_{r-1}^2 + \delta_r^r h_r^2) \\ b_{r,r+1} = \delta_r^r h_r^2 \\ c_{r,r-1} = 2 h_{r-1} + h_r \\ c_{r,r} = h_{r-1} + 2 h_r \\ d_{r,r-1} = b_{r,r-1} \\ d_{r,r} = b_{r,r} \\ d_{r,r+1} = b_{r,r+1} \\ e_{r,r} = (1+\alpha) \frac{\lambda}{2} (z_{r-1}^r + z_r^r) \dots \leq r-2 \\ > r+2 \\ e_{r,r-1} = (1+\alpha) \frac{\lambda}{2} (z_{r-1}^{r-1} + z_r^{r-1}) - \delta_r^{r-1} h_{r-1} \\ e_{r,r} = (1+\alpha) \frac{\lambda}{2} (z_{r-1}^r + z_r^r) + \delta_r^{r-1} h_{r-1} + \delta_r^r h_r \\ e_{r,r+1} = (1+\alpha) \frac{\lambda}{2} (z_{r-1}^{r+1} + z_r^{r+1}) - \delta_r^r h_r \\ f_r = (1+\alpha) \frac{\lambda}{2} (z_{r-1}^0 + z_r^0) \\ g_i = \alpha_i (z_{i-1}^0 + z_i^0) \\ l_i = \alpha_i \left(\frac{3n+4-6i}{n} \cdot z_{i-1}^0 + \frac{3n+2+6i}{n} \cdot z_i^0 \right) \end{cases}$$

Für die z_i^r und z_i^0 sind die Werte des Untergurtes einzusetzen. Da sie bei gleichen Knotenweiten, einer bestimmten Felderzahl n und gegebenem α Festzahlen sind, können auch die Summen aufeinander

folgender Knotenwerte in einer Tabelle zusammengestellt werden. Nach Gl. (11) ist:

$$(19) \begin{cases} z_{r-1}^v + z_r^v = X_{r-1}^v + X_r^v \dots v \leq r \\ z_{r-1}^r + z_r^r = 2 + X_{r-1}^r + X_r^r \end{cases}$$

Danach ist die folgende Tafel 2 berechnet, wobei die X_i^r -Werte nach Gl. (10a) bzw. Tafel 1 berechnet wurden ($X_i^r \equiv X_i^v$).

Tafel 2.
 $Z_{r-1}^v + Z_r^v \dots n > 5.$

$r \setminus v$	1	2	3	4	5	
1	+ 1,196	- 0,589	+ 0,158	- 0,042	+ 0,011	$n-1$
2	- 0,589	+ 0,765	- 0,473	+ 0,127	- 0,034	$n-2$
3	+ 0,158	- 0,473	+ 0,734	- 0,465	+ 0,125	$n-3$
4	- 0,042	+ 0,127	- 0,465	+ 0,732	- 0,464	$n-4$
5	+ 0,011	- 0,034	+ 0,125	- 0,464	+ 0,732	$n-5$
6		+ 0,009	- 0,033	+ 0,125	- 0,464	$n-6$
7			+ 0,009	- 0,033	+ 0,124	$n-7$
8				+ 0,009	- 0,033	$n-8$
9					+ 0,009	$n-9$
	n	$n-1$	$n-2$	$n-3$	$n-4$	$r \setminus v$

Man erkennt leicht, daß es mit hinreichender Genauigkeit genügt, nur die Glieder mit $r-2 \leq v \leq r+2$, somit in Gl. (16) nur fünf Glieder mit Z zu berücksichtigen. Der durch die Vernachlässigung entstehende Fehler ist noch weit geringer, als es die Tabelle vermuten läßt, da bei den Beiwerten $e_{r,v}$ ($v=r-1, r$ und $r+1$) noch die Beiträge der Pfosten hinzukommen.

Ähnlich ist mit der Summe $z_{i-1}^o + z_i^o$ zu verfahren. Nach Gl. (14) erhält man

$$(20) \quad z_{i-1}^o + z_i^o = (1+k)(k^{i-1} - k^{n-i}) = 0,73205(k^{i-1} - k^{n-i}).$$

Die zugehörigen Zahlenwerte sind für $n=7$ bis 10 in der folgenden Tafel 3 zusammengestellt.

Tafel 3.

$i \setminus n$	7	8	9	10
1	+ 0,732	+ 0,732	+ 0,732	+ 0,732
2	- 0,195	- 0,196	- 0,196	- 0,196
3	+ 0,049	+ 0,054	+ 0,052	+ 0,053
4	0	- 0,018	- 0,013	- 0,014
5	- 0,049	+ 0,018	0	+ 0,005
6	+ 0,195	- 0,054	+ 0,013	- 0,005
7	- 0,732	+ 0,196	- 0,052	+ 0,014
8		- 0,732	+ 0,196	- 0,053
9			- 0,732	+ 0,196
10				- 0,732

In gleicher Weise lassen sich auch in l_i die Klammerausdrücke $l_i' = \left(3 + \frac{4-6i}{n}\right) z_{i-1}^o + \left(3 + \frac{2-6i}{n}\right) z_i^o$ tafelmäßig zusammenfassen.

Tafel 4. l_i' .

$i \setminus n$	7	8	9	10
1	+ 2,063	+ 2,081	+ 2,093	+ 2,104
2	- 0,383	- 0,411	- 0,430	- 0,446
3	+ 0,056	+ 0,071	+ 0,080	+ 0,088
4	- 0,007	- 0,009	- 0,012	- 0,015
5	+ 0,056	- 0,009	+ 0,001	+ 0,002
6	- 0,383	+ 0,071	- 0,012	+ 0,002
7	+ 2,063	- 0,410	+ 0,080	- 0,015
8		+ 2,081	- 0,430	+ 0,088
9			+ 2,093	- 0,446
10				+ 2,104

Die Zahlenrechnung wird vereinfacht, wenn man die Gl. (17) durch $(1+\alpha) \frac{\lambda}{2}$ dividiert.

Ist $\alpha = 1$, so wird $\frac{1-\alpha}{2(1+\alpha)} = 0$; somit sind auch die $Z_i = Z_o = 0$,

und es verbleiben nur die Y zu berechnen. In diesem Falle ist auch bei ungleichen Feldweiten der Rechenaufwand nicht groß. Die Lösung der verallgemeinerten Gl. (3)

$$(3a) \begin{cases} \lambda_r X_{r-1} + 2(\lambda_r + \lambda_{r+1}) X_r + \lambda_{r+1} X_{r+1} \\ = - \frac{\alpha}{1+\alpha} [\lambda_r \mathfrak{M}_{r-1} + 2(\lambda_r + \lambda_{r-1}) \mathfrak{M}_r + \lambda_{r+1} \mathfrak{M}_{r+1}] \end{cases}$$

ist unter den gleichen Voraussetzungen, unter denen Gl. (3) zu Recht besteht, $X_r = -\frac{1}{2} \mathfrak{M}_r$; somit verteilen sich die Momente \mathfrak{M} je zur Hälfte auf die beiden Gurte. An die Stelle der Gl. (15) treten jetzt:

$$(15a) \begin{cases} \left[\frac{1}{12} (\delta_1^o h_o^3 + \delta_1^1 h_1^3) + \frac{\lambda_1}{6} (h_o^2 + h_o h_1 + h_1^2) + \lambda_1 (\beta_1 + \gamma_1) \right] Y_1 \\ - \frac{1}{12} \cdot \delta_1^1 h_1^3 Y_2 = \frac{1}{12} [(2 h_o + h_1) \mathfrak{M}_o + (h_o + 2 h_1) \mathfrak{M}_1] \\ - \frac{1}{12} \cdot \delta_r^{r-1} h_{r-1}^3 Y_{r-1} + \left[\frac{1}{12} (\delta_r^{r-1} h_{r-1}^3 + \delta_r^r h_r^3) \right. \\ \left. + \frac{\lambda_r}{6} (h_{r-1}^2 + h_{r-1} h_r + h_r^2) + \lambda_r (\beta_r + \gamma_r) \right] Y_r \\ - \frac{1}{12} \cdot \delta_r^r h_r^3 Y_{r+1} = \frac{\lambda_r}{12} [(2 h_{r-1} + h_r) \mathfrak{M}_{r-1} \\ + (h_{r-1} + 2 h_r) \mathfrak{M}_r] \\ - \frac{1}{12} \cdot \delta_n^{n-1} h_{n-1}^3 Y_{n-1} + \left[\frac{1}{12} (\delta_n^{n-1} h_{n-1}^3 + \delta_n^n h_n^3) \right. \\ \left. + \frac{\lambda_n}{6} (h_{n-1}^2 + h_{n-1} h_n + h_n^2) + \lambda_n (\beta_n + \gamma_n) \right] Y_n \\ = \frac{\lambda_n}{12} [(2 h_{n-1} + h_n) \mathfrak{M}_{n-1} + (h_{n-1} + 2 h_n) \mathfrak{M}_n] \end{cases}$$

Auch wenn $\alpha \approx 1$ und die Abweichung nicht sehr groß ist, wird der Fehler, der durch die Vernachlässigung der Glieder mit Z in Gl. (15) und der Glieder mit Y in Gl. (16) u. (17) entsteht, die Momentenverteilung wenig beeinflussen. Weicht α um einen größeren Betrag von 1 ab oder will man die erwähnte Vernachlässigung nicht machen, so empfiehlt sich folgender Rechnungsgang:

Man setzt zunächst in den Gl. (15) den verhältnismäßig kleinen Summenausdruck der $Z=0$. Eine Näherungslösung der verbleibenden dreigliedrigen Gleichungen ist

$$(21) \quad Y_r = \frac{c_{r,r-1} \mathfrak{M}_{r-1} + c_{r,r} \mathfrak{M}_r}{2(h_{r-1}^2 + h_{r-1} h_r + h_r^2)} = \frac{\mathfrak{M}_r}{\bar{h}_r}$$

Mit \mathfrak{M}_r und \bar{h}_r werden die zum Schwerpunkt des r -ten Rahmenfeldes (Trapezes) gehörigen Momente und die dem gleichen Punkte entsprechende Trägerhöhe bezeichnet. Beim Parallelträger vereinfacht sich der Ausdruck:

$$(21a) \quad Y_r = \frac{\mathfrak{M}_{r-1} + \mathfrak{M}_r}{2h}$$

Diese Näherungslösung, die den Stammwerten Engeßers für $\alpha=1$ entspricht, befriedigt nicht die Randgleichungen. Man kann sie aber bei größerer Felderzahl und nicht zu schwachen Pfosten benutzen, um das Gleichungssystem in der Mitte aufzuspalten. Bei geringer Felderzahl, wenn der Einfluß der Randbedingungen sich über die ganze Trägerlänge erstreckt, bietet die Benutzung dieser Lösung keinen Vorteil mehr.

Die so berechneten Y können als Näherungswerte der Gl. (15) angesehen und in die Gl. (16) u. (17) eingesetzt werden, aus denen sich angenäherte Z -Werte ergeben. Setzt man diese wiederum in die Gl. (15) ein, so erhält man verbesserte Y und mit diesen dann verbesserte Z . Die so erzielte Genauigkeit genügt in der Regel.

Um die Einflußlinien zu erhalten, muß die Rechnung für jede Laststellung $P=1$ in den Knotenpunkten 1 bis $n-1$ durchgeführt werden. Bei System-Symmetrie verringert sich die Zahl der Rechnungsgänge auf $\frac{n-1}{2}$ oder $\frac{n}{2}$, je nachdem ob n eine ungerade oder gerade Zahl ist. Vorteilhaft macht man von dem Verfahren der Belastungs-Umordnung Gebrauch, bei dem die unsymmetrische Belastung in einen symmetrischen und einen antisymmetrischen Teil zerlegt wird.

Beim symmetrischen Belastungsteil bestehen folgende Beziehungen:

$$(22) \begin{cases} \mathfrak{M}_i = \mathfrak{M}_{n-i} \\ Y_i = Y_{n-i+1} \\ Z_i = Z_{n-i+1} \\ Z_o = 0 \end{cases}$$

Mit den Näherungswerten Y aus Gl. (21) (die \mathfrak{M} sind natürlich auf den symmetrischen Belastungsteil zu beziehen) ergeben sich fünfgliedrige Z -Gleichungen, deren Auflösung durch die System- und Belastungssymmetrie sehr vereinfacht wird. Ebenso günstig ist der Einfluß der Symmetrie auf die Auflösung der dreigliedrigen Y -Gleichungen nach (15).

Beim antimetrischen Belastungsteil ist

$$(23) \quad \begin{cases} \mathfrak{M}_i = -\mathfrak{M}_{n-i} \\ Y_i = -Y_{n-i+1} \\ Z_i = -Z_{n-i+1} \end{cases}$$

Wenn wir in Gl. (16) die zum Belastungsfall gehörigen Näherungswerte Y gemäß Gl. (21) einsetzen, so entstehen antimetrische Belastungsglieder $A_r = -A_{n-r+1}$. Da weiter infolge der Systemsymmetrie $e_{r,i} = e_{n-r+1, n-i+1}$ und $f_r = -f_{n-r+1}$ ist, zerfallen die Gl. (16) in zwei vollständig getrennte Teile, die sich nur durch das Vorzeichen voneinander unterscheiden. Bezeichnen wir bei ungerader Felderzahl

$\frac{n+1}{2} = \mu$ und bei gerader Felderzahl $\frac{n}{2} = \mu$, so können die Gl. (16) folgendermaßen angeschrieben werden:

a) bei ungerader Felderzahl:

$$(24) \quad \begin{cases} e_{1,1} Z_1 + e_{1,2} Z_2 + e_{1,3} Z_3 + f_1 Z_0 = A_1 \\ e_{r,r-2} Z_{r-2} + e_{r,r-1} Z_{r-1} + e_{r,r} Z_r + e_{r,r+1} Z_{r+1} + e_{r,r+2} Z_{r+2} + f_r Z_0 = A_r \\ e_{\mu-1, \mu-3} Z_{\mu-3} + e_{\mu-1, \mu-2} Z_{\mu-2} + (e_{\mu-1, \mu-1} - e_{\mu-1, \mu+1}) Z_{\mu-1} + f_{\mu-1} Z_0 = A_{\mu-1}; \end{cases}$$

b) bei gerader Felderzahl:

$$(25) \quad \begin{cases} e_{\mu, \mu-2} Z_{\mu-2} + (e_{\mu, \mu-1} - e_{\mu, \mu+2}) Z_{\mu-1} + (e_{\mu, \mu} - e_{\mu, \mu+1}) Z_{\mu} + f_{\mu} Z_0 = A_{\mu}. \end{cases}$$

Die Auflösung dieser Differenzgleichungen erfolgt in bekannter Weise derart, daß man zuerst das Störglied $Z_0 = 0$ setzt — die zugehörige Lösung bezeichnen wir mit Z_r^o — und hierauf in einem zweiten Rechnungsgange $A_r = 0, Z_0 = 1$ einführt. Ist $Z_{r,o}$ die diesen Werten entsprechende Lösung, so erhalten wir nach dem Superpositionssetze

$$(26) \quad Z_r = Z_r^o + Z_0 Z_{r,o}.$$

Diesen Wert in Gl. (17) eingesetzt, liefert schließlich Z_0 , womit auch die Z_r gegeben sind. Die Auflösung der Gl. (15) durch Iteration bereitet in der Regel keine Schwierigkeiten.

Aus den Unbekannten errechnen sich die endgültigen Momente in den Gurten des r -ten Feldes:

$$(27) \quad \begin{cases} M_{r-1}^o = \frac{\alpha}{1+\alpha} (\mathfrak{M}_{r-1} - Y_r h_{r-1}) + \sum_{r-2}^{r+2} Z_v z_{r-1}^v + Z_0 z_{r-1}^o \\ M_r^o = \frac{\alpha}{1+\alpha} (\mathfrak{M}_r - Y_r h_r) + \sum_{r-2}^{r+2} Z_v z_r^v + Z_0 z_r^o \\ M_{r-1}^u = \frac{1}{1+\alpha} (\mathfrak{M}_{r-1} - Y_r h_{r-1}) + \sum_{r-2}^{r+2} Z_v z_{r-1}^v + Z_0 z_{r-1}^o \\ M_r^u = \frac{1}{1+\alpha} (\mathfrak{M}_r - Y_r h_r) + \sum_{r-2}^{r+2} Z_v z_r^v + Z_0 z_r^o \end{cases}$$

Die Werte z_{r-1}^v und z_r^v sind durch Gl. (11) gegeben, wenn dort r durch v und i durch r ersetzt wird. z_r^o ist der nach Gl. (14) berechneten Tafel 5 zu entnehmen.

Tafel 5.
 z_r^o .

$\frac{n}{r}$	7	8	9	10
0	+ 1,000	+ 1,000	+ 1,000	+ 1,000
1	- 0,268	- 0,268	- 0,268	- 0,268
2	+ 0,073	+ 0,071	+ 0,072	+ 0,072
3	- 0,024	- 0,018	- 0,020	- 0,019
4	+ 0,024	0	+ 0,006	+ 0,005
5	- 0,073	+ 0,018	- 0,006	0
6	+ 0,268	- 0,071	+ 0,020	- 0,005
7	- 1,000	+ 0,268	- 0,072	+ 0,019
8		- 1,000	+ 0,268	- 0,072
9			- 1,000	+ 0,268
10				- 1,000

In den Anschlußpunkten an die Gurte sind die Pfostenmomente:

$$(28) \quad \begin{cases} M_o^{v,o} = -(Z_o + Z_1) - \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot Y_1 h_o \\ M_o^{v,u} = -(Z_o + Z_1) + \frac{1}{1+\alpha} \cdot Y_1 h_o \\ M_r^{v,o} = Z_r - Z_{r+1} + \frac{\alpha}{1+\alpha} (Y_r - Y_{r+1}) h_r \\ M_r^{v,u} = Z_r - Z_{r+1} - \frac{1}{1+\alpha} (Y_r - Y_{r+1}) h_r \\ M_n^{v,o} = Z_n - Z_o - \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot Y_n h_n \\ M_n^{v,u} = Z_n - Z_o + \frac{1}{1+\alpha} \cdot Y_n h_n \end{cases} \quad r = 1 \text{ bis } n-1$$

Die Gurtlängskräfte sind:

$$(29) \quad \begin{cases} O_r = -Y_r \left(\cos \varphi_r + \frac{\text{tg } \varphi_r}{1+\alpha} \cdot \sin \varphi_r \right) \\ U_r = Y_r. \end{cases}$$

Pfostenlängskräfte (vorausgesetzt, daß die Belastung nur am Untergurt angreift):

$$(30) \quad \begin{cases} V_o = V_o^1 - Y_1 \cdot \frac{\text{tg } \varphi_r}{1+\alpha} + \frac{1}{\lambda} \left[\sum_1^3 Z_r X_r^v + Z_o \left(-\frac{2}{n} + X_1^o \right) \right] \\ V_r = V_r^1 + \frac{1}{(1+\alpha)} (Y_r \cdot \text{tg } \varphi_r - Y_{r+1} \cdot \text{tg } \varphi_{r+1}) \\ + \frac{1}{\lambda} \left[\sum_{r-2}^{r+2} Z_v (X_{r-1}^v - 2 X_r^v + X_{r+1}^v) + Z_o (X_{r-1}^o - 2 X_r^o + X_{r+1}^o) \right] \\ V_n = V_n^1 + Y_n \cdot \frac{\text{tg } \varphi_n}{1+\alpha} + \frac{1}{\lambda} \left[\sum_{n-2}^n Z_v X_n^v + Z_o \left(\frac{2}{n} + X_n^o \right) \right]. \end{cases}$$

Es läßt sich leicht nachweisen, daß die Beiwerte zu Z_v und Z_o der vorstehenden Gleichung sich wie folgt vereinfachen lassen:

$$(31) \quad \begin{cases} X_{r-1}^v - 2 X_r^v + X_{r+1}^v = -3 (1 + 2 X_r^v) \dots v = r, r+1 \\ X_{r-1}^o - 2 X_r^o + X_{r+1}^o = -6 X_r^o \dots v \leq r+1 \\ X_{r-1}^o - 2 X_r^o + X_{r+1}^o = -6 X_r^o. \end{cases}$$

Die Werte X_r^v können der Tafel 1 entnommen werden, wenn man dort r durch v und i durch r ersetzt. X_r^o ergibt sich gemäß Gl. (13) nach Einsetzen der Konstanten: $X_r^o = k^r - k^{n-r} - 1 + \frac{2r}{n}$ und kann unter Benutzung der Tafel 5, in der der Ausdruck $z_r^o = k^r - k^{n-r}$ für $n = 7$ bis 10 zahlenmäßig zusammengestellt ist, berechnet werden. Wie in der Gl. (16) genügt auch in den Gl. (27) u. (30) die Berücksichtigung von jeweils fünf, oft auch von nur drei Werten Z_v .

Die Pfosten-Längskräfte sind im allgemeinen klein. Sie erreichen nur dort größere Werte, wo die \mathfrak{M} -Linie einen stärkeren Knick aufweist. Im Bereiche geradliniger \mathfrak{M} werden im System I die $V_r^1 = 0$.

Für $\alpha = 1$ entfallen in den Gl. (27) bis (30) alle Glieder mit Z_v und Z_o .

b) Belastung durch Brems- und sonstige waagerechte Längskräfte.

Bei Brücken werden die in der Brückenlängsrichtung wirkenden waagerechten Kräfte vom Bremsverband aufgenommen und über die Hauptträger in die Lager geleitet. Die Beeinflussung der Hauptträger durch diese Kräfte ist bei „Fahrbahn unten“ und „Fahrbahn oben“ verschieden.

Liegt bei „Fahrbahn unten“ der Bremsverband über dem festen Lager, so werden, wenn von den durch den Höhenunterschied zwischen Untergurtachse und Auflagerpunkt bedingten geringen Momenten abgesehen wird, die Hauptträger durch die Bremskräfte nicht beansprucht. Sind an beiden Brückenenden Bremsverbände angeordnet mit Fahrbahnunterbrechung in Brückenmitte oder liegt der Bremsverband in Brückenmitte, so werden im einen Falle die von der Belastung der halben Brückenlänge herrührenden Bremskräfte durch den Untergurt vom beweglichen zum festen Lager, im anderen die der Belastung der ganzen Brücke entsprechenden Bremskräfte von Brückenmitte zum festen Lager geleitet. Es treten also im statisch bestimmten System keine Momente, und Längskräfte nur im Untergurt auf. Durch diese werden nur die Gl. (15) betroffen, deren Belastungsglieder für diesen Fall lauten:

$$(32) \quad A_r = \mp B \lambda \beta_r.$$

Dabei gilt das obere Vorzeichen, wenn die Bremskräfte im Untergurt des statisch bestimmten Systems eine Zugkraft B , das untere, wenn sie eine entsprechende Druckkraft hervorrufen.

Da die $M = 0$ sind, verschwinden alle X und Z , so daß in den Gl. (27) bis (30) nur die Y erscheinen; eine Ausnahme bilden nur die Untergurtstäbe, in denen noch die Längskräfte B des statisch bestimmten Systems hinzutreten

$$(29a) \quad U_r = \pm B + Y_r.$$

Bei obertliegender Fahrbahn entsteht im statisch bestimmten Grundsystem das in Bild 1k dargestellte Momentenbild. Man erkennt daraus, daß es belanglos ist, in welchem Obergurtstab B angreift. Für die zugehörigen Längskräfte des statisch bestimmten Systems gilt sinngemäß das gleiche wie bei „Fahrbahn unten“.

Bei dieser Belastung werden alle $X = 0$. Für die Belastungsglieder der Gl. (15) ergeben sich folgende Ausdrücke:

$$(33) \quad \begin{cases} A_1 = \left[-\frac{1}{3} \cdot \frac{1 + \alpha^3}{(1 + \alpha)^3} \cdot \delta_1^0 h_0^3 \right. \\ \quad \left. - \frac{\lambda}{6} \cdot \frac{\alpha}{1 + \alpha} \left(c_{1,0} + c_{1,1} \cdot \frac{n-1}{n} \right) h_0 \pm \lambda \beta_1 \right] B \\ A_r = \left[-\frac{\lambda}{6} \cdot \frac{\alpha}{1 + \alpha} \left(c_{r,r-1} \cdot \frac{n-r+1}{n} + c_{r,r} \cdot \frac{n-r}{n} \right) \pm \lambda \beta_r \right] B \\ A_n = \left[-\frac{\lambda}{6} \cdot \frac{\alpha}{1 + \alpha} \left(c_{n,n-1} \cdot \frac{1}{n} \right) \pm \lambda \beta_n \right] B \end{cases}$$

Greift B nicht am Ende an, so entfallen in den Belastungsgliedern der Felder, in denen im statisch bestimmten System keine Gurtlängskräfte auftreten, die Ausdrücke $\lambda \beta_r$.

Die Belastungsglieder der Gl. (16) u. (17) sind:

$$(34) \quad \begin{cases} D_1 = E = -\frac{1}{2} \delta_1^0 h_0^2 \frac{1 - \alpha}{1 + \alpha} \\ D_i = 0 \dots i = 2 \text{ bis } n. \end{cases}$$

Die Auflösung der Gleichungen hat in der gleichen Weise, wie unter a) gezeigt wurde, zu erfolgen.

c) Wirkung von Temperaturänderungen.

Durch eine gleichmäßige, alle Stäbe erfassende Temperaturänderung wird der Rahmenbalken nicht beeinflusst. Dagegen entstehen Beanspruchungen, wenn, beispielsweise infolge Beschattung eines Gurtes durch die auskragende Fahrbahn, ein Temperaturunterschied zwischen diesem Gurt und den übrigen Stäben besteht. Die Wirkung eines solchen Temperaturunterschiedes ist der Wirkung einer Gurtlängskraft gleich zu setzen; sie beeinflusst also auch nur die Belastungsglieder der Y -Gleichungen. Sie lauten, wenn der betreffende Gurt eine um t^0 niedrigere Temperatur aufweist als die übrigen Stäbe und gerade geführt ist, während der andere Gurt auch gekrümmt sein kann:

$$(35) \quad \begin{cases} A_r = +E J_r^0 \cdot \cos \varphi_r \omega t \lambda \quad (\text{Untergurt}) \\ \quad -E J_r^0 \omega t \lambda \quad (\text{Obergurt}). \end{cases}$$

Die endgültigen Momente und Längskräfte Gl. (27) bis (30) sind dann allein durch die Y bestimmt. (Schluß folgt.)

Das neue Zigarettenfabrikationsgebäude der Tabakfabrik in Linz a. d. Donau (Österreich).¹⁾

Alle Rechte vorbehalten.

Von Ingenieur Leopold Herzka, Wien.

Mit diesem Fabrikationsgebäude gelangte der bisher in Österreich größte Stahlskelettbau zur Ausführung²⁾, zu der sich die österreichische Tabakregie auf Grund umfangreicher Vergleichsstudien zwischen Stahlskelett und Eisenbeton entschied. Maßgebend für den Entschluß war einerseits die Erwägung, daß während des Baues und nach dessen Vollendung Änderungen in der geplanten Aufstellung der maschinellen Einrichtungen zu erwarten waren, die sich bei Stahlskelettbauten leichter durchführen lassen als bei Massivbauwerken, dann aber der Umstand, daß mit etwaigen Bodenstärkungen zu rechnen war, deren gefahrlose Behebung bei Ausführung in Stahl mit Sicherheit möglich ist³⁾.

Hauptgebäude durchgehenden Transportbänder und des Plattenbandförderers nicht durch Einbauten zu stören. In den Stiegenhäusern sind die durchlaufenden Personen- und Warenaufzüge, zwei Waren-Paternoster und endlich zwei vom 3. zum 5. Obergeschoß führende Zwischenaufzüge untergebracht.

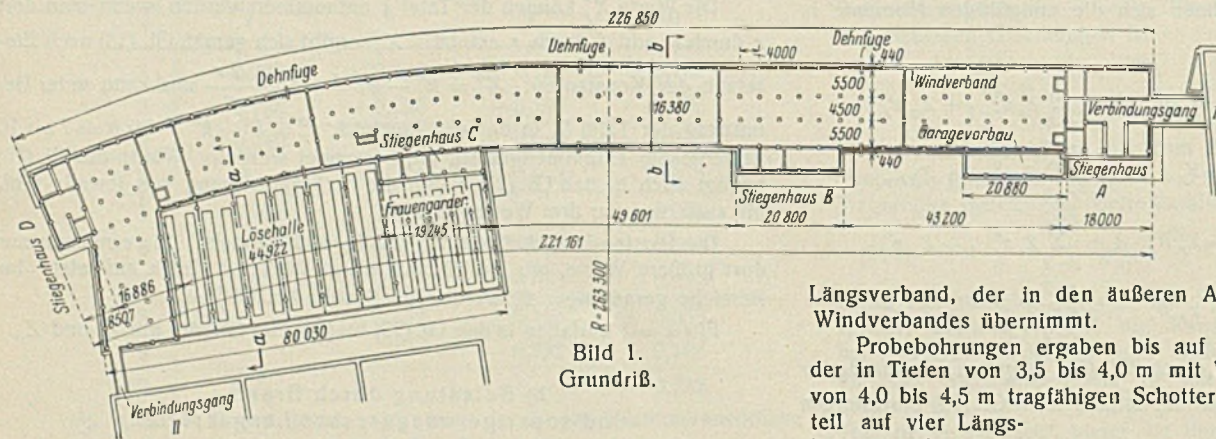
Die im Abstände von 4 m angeordneten vierstieligen, 7geschossigen Stahlrahmen sind symmetrisch ausgebildet. Die äußere Feldweite beträgt je 5,5 m, die mittlere 4,5 m. Die einzelnen Rahmen sind durch Deckenträger aus I-Profilen verbunden, zwischen welche Ziegelgewölbe gespannt sind, deren Verwendung auf Wunsch der Bauherrin deshalb erfolgte, weil nach ihrer Erfahrung solche Decken die leichteste Anpassung bei Betriebsänderungen zulassen.

Durch drei etwa in den Viertelpunkten vorgesehene Dehnfugen wird das Gebäude in vier voneinander unabhängige, rund 56 m lange Teile zerlegt. Jeder Bauteil erhält einen in den Außenwänden untergebrachten

Längsverband, der in den äußeren Abschnitten zugleich die Rolle des Windverbandes übernimmt.

Probeforschungen ergaben bis auf eine Tiefe von etwa 3,5 m Tegel, der in Tiefen von 3,5 bis 4,0 m mit Welsand durchsetzt war, und erst von 4,0 bis 4,5 m tragfähigen Schotter. Man entschloß sich, den Hauptteil auf vier Längsholme aufzusetzen, die an den Stirnseiten durch je einen Querholm verbunden wurden. Ihre Ausführung erfolgte in Stampfbeton; unter den Stützenfüßen wurde eine Stahlbewehrung vorgesehen.

Probeforschungen ergaben bis auf eine Tiefe von etwa 3,5 m Tegel, der in Tiefen von 3,5 bis 4,0 m mit Welsand durchsetzt war, und erst von 4,0 bis 4,5 m tragfähigen Schotter. Man entschloß sich, den Hauptteil auf vier Längsholme aufzusetzen, die an den Stirnseiten durch je einen Querholm verbunden wurden. Ihre Ausführung erfolgte in Stampfbeton; unter den Stützenfüßen wurde eine Stahlbewehrung vorgesehen.



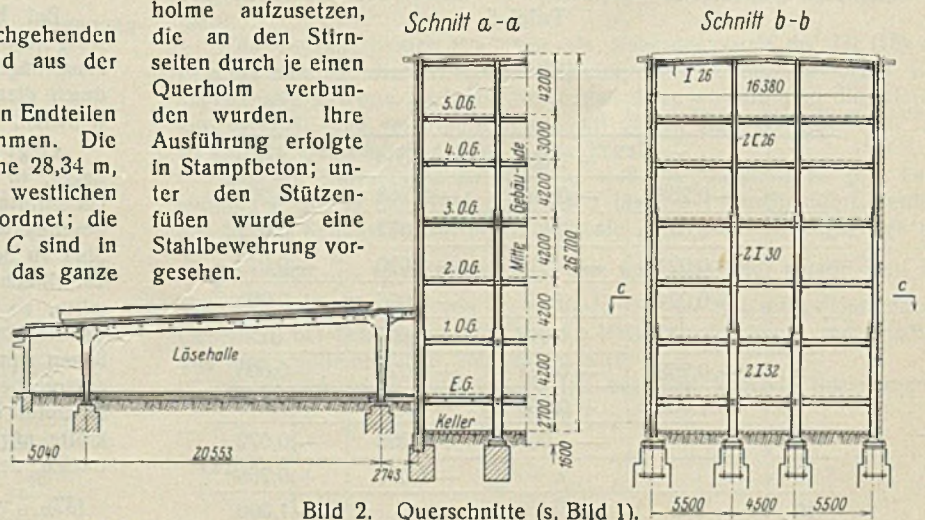
Das neue Fabrikationsgebäude besteht aus einem durchgehenden 7geschossigen Hauptteil, einem 5geschossigen Querteil und aus der unterkellerten ebenerdigen Lösehalle (Bild 1 u. 2).

Der Grundriß des Haupttraktes setzt sich aus zwei geraden Endteilen und einem zwischengeschalteten Bogenteil ($R = 263$ m) zusammen. Die äußere Länge beträgt 226,85 m, die Breite 16,38 m, die Höhe 28,34 m, gemessen von Fundamentoberkante bis zur Traufkante. Am westlichen und östlichen Ende wurden die Stiegenhäuser A und D angeordnet; die ungefähr in den Drittpunkten liegenden Stiegen B und C sind in eigenen Anbauten untergebracht, um den Betrieb der durch das ganze

¹⁾ Die für die Veröffentlichung notwendigen Unterlagen verdanke ich Herrn Oberingenieur Hans LaBner der Waagner-Biro A.-G., Wien.

²⁾ Der erste in Österreich ausgeführte Stahlskelettbau, die Sodafabrik der Solvaywerke in Ebensee, besteht bei einer Gesamthöhe von 42 m aus neun Geschossen und wurde im Jahre 1926 von der Waagner-Biro A.-G. errichtet.

³⁾ Siehe u. a. Gebäudehebung beim Großkraftwerk Klingenberg. AEG-Mitteilungen 1927, Heft 11.



Der 5geschossige Querteil besitzt bei gleicher Gebäudetiefe eine im Wesen gleiche konstruktive Durchbildung.

In der einspringenden Ecke, die durch den Querteil und durch den Hauptteil bis zum Stiegenhaus C begrenzt wird, kam ein ebenerdiger Hallenbau von 64×25 m zur Ausführung, die sogenannte Lösehalle. Die Hallenbinder sind Vollwand-Zweigelenrahmen mit Zugband. Die Stielentfernung beträgt 20,55 m.

Für das Stahlgerippe waren rund 3000 t Stahl erforderlich, wovon auf den 7geschossigen Hauptteil einschließlich der Stiegenhäuser $24,5 \text{ kg/m}^3$, auf den 5geschossigen Querteil $23,2 \text{ kg/m}^3$ entfielen. Das Gewicht von $24,5 \text{ kg}$ je m^3 umbauten Raumes für den Hauptteil erscheint mit Rücksicht auf die durch die maschinellen Einrichtungen bedingte ungünstige Rahmenfeldteilung und auf die großen Nutzlasten (s. weiter unten) nicht ungünstig.

Statische Berechnung. Diese erfolgte für nachstehende Belastungen in kg/m^2 :

Geschoß	Konstruktionsteil	Eigen-gewicht	Nutzlasten einschließlich Zuschlag für Erschütterungen
Dach		600	250
1. bis 5. Obergeschoß	Deckenträger	550	800
	Unterzüge und Stützen	550	600
Erdgeschoß	Deckenträger	550	1000
	Unterzüge und Stützen	550	800
Dach für ebenerdigen Anbau (Lösehalle)		250	100
Stiegenhäuser und Nebenräume ohne Unterschied des Geschosses		550	500

Das Gewicht der sich nicht tragenden Umfassungswände wurde mit 550 kg/m^2 angesetzt. Die Berechnung der Ständer der mehrgeschossigen Gebäudeteile erfolgte gemäß Önorm B 2101. Danach ergibt sich der Winddruck für den durchlaufenden Teil des Hauptteiles und für den Querteil mit 125 kg/m^2 , für die Stiegenhäuser mit 142 kg/m^2 und für die Lösehalle mit 75 kg/m^2 .

Für Stahl St 37.11, der durchweg zur Verwendung gelangte, wurden folgende zulässige Inanspruchnahmen vorgeschrieben: für die Deckenträger und Rahmenriegel in den mehrgeschossigen Gebäudeteilen unter Einwirkung der senkrechten Belastung allein 1000 kg/cm^2 , für Stützen und sonstige Tragwerksteile 1200 kg/cm^2 ; bei Berücksichtigung des Winddruckes wurden die Inanspruchnahmen um 200 kg/cm^2 erhöht.

Der 7geschossige Rahmen ist 63fach statisch unbestimmt. Seine Untersuchung erfolgte näherungsweise unter der Annahme, daß die Momentennullpunkte in den nicht belasteten Stäben um $1/4$ vom Stabende abstehen, wozu zwei Elastizitätsbedingungen ausreichen⁴⁾. Eine Kontrolle nach Straßner⁵⁾ ergab gute Übereinstimmung.

Zur Beurteilung der Gesamtsteifigkeit des Rahmens wurde die Formänderung unter Windangriff berechnet, die eine seitliche Ausbiegung der Stielenden um 20 mm, also um weniger als $1/1000$ der Höhe ergab.

Ausbildung des Stahlskeletts. Der biegesteife Anschluß der Riegel an die Stiele wird dadurch erzielt, daß die Einspannmomente von den aus einfachen I 36-Profilen bestehenden Riegeln, die zwischen den aus je zwei I- bzw. C-Profilen gebildeten Stielen ungestoßen durchlaufen, durch geeignete Sättel an die Stiele abgegeben werden (Bild 3)⁷⁾. Diese Ausbildung war auch bei den Außenstützen möglich, weil die Gebäudeaußenmauer genügend weit vor die Stahlkonstruktion vorgesetzt ist. Die Sättel wurden gleichzeitig für die an den Einspannstellen nötigen Verstärkungen der Stiele herangezogen.

Das saute Anliegen der Riegelanschlüsse an die Sättel wird durch eingetriebene Stahlkeile gewährleistet. Um schädliche Verformungen der

⁴⁾ Durch die gegenüber der Önorm wesentlich niedriger gehaltenen Inanspruchnahmen sollte eine Reserve für unvorhergesehene Belastungsfälle geschaffen werden (späterer Einbau schwererer oder stärker schwingender Maschinen).

⁵⁾ Siehe Bleich, Stahlhochbauten I, S. 354.

⁶⁾ Siehe Straßner, Neuere Methoden zur Statik der Rahmentragwerke und der elastischen Bogenträger, I. Bd. Berlin 1925.

⁷⁾ Vgl. a. Stahlbau 1931, S. 37 u. f.

Sättel zu vermeiden, wurde die spezifische Pressung zwischen diesen und den Riegeln der zulässigen Stahlbeanspruchung annähernd gleichgesetzt. Die im Trägersteg an der Einspannstelle auftretenden Hauptnormalspannungen, die das zulässige Maß höchstens um 130% überschreiten, wurden durch an die Trägerflansche beiderseits angeschweißte, 12 mm starke Laschen entsprechend abgemindert. Die Schweißung bot im vorliegenden Falle die einzige Möglichkeit zur Aufnahme der verhältnismäßig großen Querkkräfte innerhalb eines kurzen Anschlußbereiches.

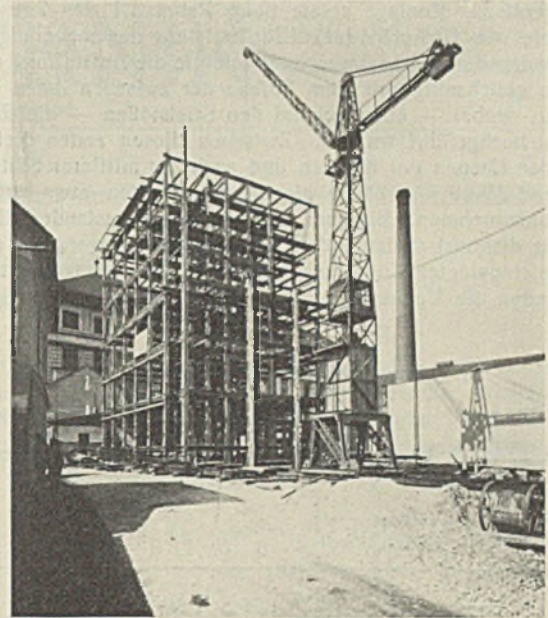


Bild 4. Beginn des Rahmeneinzelvorbaues.

Die Riegel bestehen aus einem durchgehenden Profil, so daß die bei abgestuften Profilen sich ergebende Gewichtsersparnis (durch die dann erforderlichen zwei Montagestöße) reichlich wettgemacht wird. Alle sonstigen Stöße sind wegen einfacherer Montage durchweg verschraubt. Für auf Kontakt angearbeitete Stielstöße kamen Paßschrauben zur Verwendung.

Die Konstruktionsstärke der Ziegelgewölbedecken zwischen Fußbodenober- und Deckenträgerunterkante beträgt 440 mm, die größte Deckenträgerentfernung 2,25 m. Der Gewölbeschub wird in den äußersten zwei Feldern von je drei Stahlschließen aufgenommen.

Zur Unterstützung der 38 cm starken Außenmauern dienen aus je zwei C-Profilen bestehende, in der Höhe der Stürze der Langfenster angeordnete Mauerträger, welche auf den an den Außenseiten der Außenstiele angebrachten Konsolen aufliegen. Die Dehnfugen werden durch Blechschuttkasten freigehalten, um ihre Wirkung durch Einbetonieren oder Vermauern nicht zu beeinträchtigen.

In der Mitte jedes Ausdehnungsabschnittes wurden in den Außenwänden über zwei Felder reichende, aus gekreuzten Flachstäben bestehende, in einer Leichtbetonzwischenschicht verlegte Montageverbände vorgesehen. In diesem Bereiche mußten die nur 25 cm starken Außenmauern gegen den Innenraum durch eine geeignete Verkleidung ergänzt werden. In den Ausdehnungsabschnitten an den Gebäudeenden wurden die Montageverbände in geeigneter Weise als Windverbände durchgebildet.

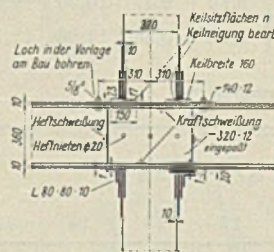


Bild 3. Riegelanschluß.

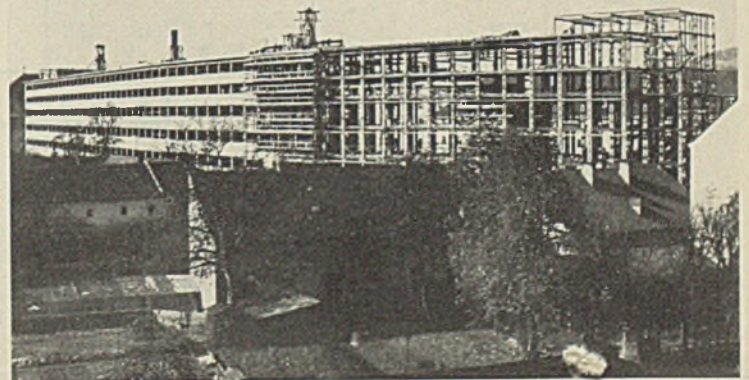


Bild 5. Das Stahlskelett nach beendeter Aufstellung mit teilweiser Ausmauerung.

Die Rahmen des Stahlgerippes sind vollständig einbetoniert, ebenso die Mauerträger. Die Deckenträger erhielten lediglich einen Rabitzverputz.

Aufstellung der Stahlkonstruktion. Die Aushub- und Fundierungsarbeiten setzten sofort nach Auftragserteilung (Anfang Oktober 1930) ein, so daß noch vor Eintritt des Frostes die Fundamente fertiggestellt und die Verankerungen für die Stiele versetzt waren. Die Wintermonate waren der Werkstattarbeit gewidmet; sofort nach Eintritt der wärmeren Jahreszeit konnte mit der Aufstellung begonnen werden.

Die eigentliche Montage setzte beim Rahmen 1 des 7geschossigen Hauptgebäudes ein (7. April 1931). Zur Erzielung der notwendigen Standicherheit während des Zusammenbaues erfolgte die Aufstellung der ersten drei Rahmen gleichzeitig mit dem Einbau der zwischen ihnen liegenden Deckenträger, wobei — entsprechend den Stielstößen — die Rahmen in drei Etappen hochgeführt wurden. Zwischen diesen ersten drei Rahmen wurden in den Ebenen der äußeren und auch der mittleren Stützenreihen vorübergehend Montageverbände eingebaut, um den etwa auftretenden Winddruck aufzunehmen. Bis zum 4. Obergeschoß bestanden diese Hilfsverbände aus diagonal verlaufenden Kettenverspannungen, die durch Anziehen einer eingelegten Zugschraube in Spannung gesetzt wurden. Von da ab bestanden die Verbände aus einfachen Winkeln. Vom Rahmen 6

an wurde jeder neue Rahmen einzeln bis zur vollen Höhe aufgebaut und durch die Deckenträger an den bereits bestehenden Teil angeschlossen (Bild 4). Die Verteilung der Rahmen erforderte besondere Sorgfalt, da die Keillage die Gesamtstellung des Rahmens wesentlich beeinflußt.

Das Abladen und den Zusammenbau besorgte ein für diesen Zweck besonders konstruierter, elektrisch betriebener, in der Gebäudelängsachse fahrbarer Baukran (Bild 4).

Die Ausfachungs- und Ausmauerungsarbeiten erfolgten mit Hilfe eines fahrbaren, über alle Stockwerke reichenden Stahlgerüstes, so daß die Ausmauerung sich unmittelbar an die Montage des Stahlskeletts anschließen konnte.

Bild 5 zeigt das Stahlskelett nach Vollendung der Montage.

Schlußbemerkungen: Der architektonische Entwurf stammt von Baurat h. c. Prof. Dr. Peter Behrens und Dipl.-Architekt Prof. Alexander Popp in Wien, während der Entwurf und die Herstellung bzw. die Aufstellung der Stahlkonstruktion durch die Wiener Stahlbaufirmen Waagner-Biro A.-G., Wiener Brückenbau- und Eisenkonstruktions-A.-G., Ig. Gridl und Max Wahlberg unter der Oberleitung der Waagner-Biro A.-G. erfolgte. Die Durchführung sämtlicher Bauarbeiten besorgten die Linzer Filialen der Wiener Bauunternehmungen Brüder Redlich & Berger und G. A. Wayss.

Die neuen zulässigen Tragkräfte für Niete nach DIN 1050, Berechnungsgrundlagen für Stahl im Hochbau.

St 00; Belastungsfall 1 u. 2

$$\sigma_s = 1200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_l = 2400 \text{ kg/cm}^2$$

Ø	Abscheren		Lochleibung															
	ein-schnitt.	zwei-schnitt.	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
11	1,14	2,28	1,32	1,58	1,85	2,11	2,37	2,64	2,90	3,16	3,43	3,69	3,96	4,21	4,47	4,74	5,00	5,28
14	1,85	3,70	1,68	2,01	2,35	2,69	3,02	3,36	3,70	4,03	4,37	4,70	5,04	5,38	5,71	6,04	6,37	6,72
17	2,73	5,46	2,04	2,45	2,85	3,26	3,67	4,08	4,48	4,90	5,30	5,72	6,12	6,53	6,95	7,34	7,75	8,16
20	3,77	7,54	2,40	2,88	3,36	3,85	4,32	4,80	5,28	5,76	6,24	6,72	7,20	7,70	8,16	8,64	9,12	9,60
23	4,97	9,94	2,76	3,31	3,87	4,42	4,96	5,52	6,08	6,62	7,18	7,74	8,28	8,84	9,38	9,93	10,50	11,04
26	6,37	12,74	3,12	3,74	4,37	5,00	5,61	6,24	6,86	7,48	8,11	8,74	9,36	10,00	10,61	11,22	11,85	12,48
29	7,93	15,86	3,48	4,18	4,88	5,57	6,27	6,96	7,66	8,36	9,06	9,76	10,44	11,14	11,84	12,54	13,23	13,92

Handelsbaustahl; Belastungsfall 1 u. 2 u. St 37; Belastungsfall 1

$$\sigma_s = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_l = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

Ø	Abscheren		Lochleibung															
	ein-schnitt.	zwei-schnitt.	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
11	1,33	2,66	1,54	1,85	2,16	2,46	2,77	3,08	3,39	3,70	4,01	4,32	4,62	4,92	5,23	5,54	5,87	6,16
14	2,16	4,32	1,96	2,35	2,74	3,14	3,53	3,92	4,31	4,70	5,09	5,48	5,88	6,28	6,67	7,06	7,45	7,84
17	3,18	6,36	2,38	2,86	3,33	3,81	4,28	4,76	5,24	5,72	6,19	6,66	7,14	7,62	8,09	8,56	9,04	9,52
20	4,40	8,80	2,80	3,36	3,92	4,48	5,04	5,60	6,16	6,72	7,28	7,84	8,40	9,96	9,52	10,08	10,64	11,20
23	5,82	11,64	3,22	3,86	4,51	5,15	5,80	6,44	7,08	7,72	8,37	9,02	9,66	10,30	10,95	11,60	12,24	12,88
26	7,43	14,86	3,64	4,37	5,10	5,82	6,55	7,28	8,01	8,74	9,47	10,20	10,92	11,64	12,37	13,10	13,83	14,56
29	9,25	18,50	4,06	4,87	5,68	6,50	7,31	8,12	8,93	9,74	10,55	11,36	12,18	13,00	13,81	14,62	15,43	16,24

St 37; Belastungsfall 2

$$\sigma_s = 1600 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_l = 3200 \text{ kg/cm}^2$$

Ø	Abscheren		Lochleibung															
	ein-schnitt.	zwei-schnitt.	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
11	1,52	3,04	1,76	2,11	2,46	2,82	3,17	3,52	3,87	4,22	4,54	4,92	5,28	5,64	5,99	6,34	6,69	7,04
14	2,47	4,94	2,24	2,69	3,14	3,58	4,03	4,48	4,93	5,38	5,83	6,28	6,72	7,16	7,61	8,06	8,51	8,96
17	3,63	7,26	2,72	3,26	3,81	4,35	4,90	5,44	5,98	6,52	7,07	7,62	8,16	8,70	9,25	9,80	10,34	10,88
20	5,02	10,04	3,20	3,84	4,48	5,12	5,76	6,40	7,04	7,68	8,32	8,96	9,60	10,24	11,88	11,52	12,16	12,80
23	6,64	13,28	3,68	4,42	5,15	5,89	6,62	7,36	8,10	8,84	9,57	10,30	11,04	11,78	12,51	13,24	13,98	14,72
26	8,50	17,00	4,16	4,99	5,82	6,66	7,49	8,32	9,15	9,98	10,81	11,64	12,48	13,32	14,15	14,98	15,81	16,64
29	10,5	21,0	4,64	5,57	6,50	7,42	8,35	9,28	10,21	11,14	12,07	13,00	13,92	14,84	15,77	16,70	17,63	18,56

Dipl.-Ing. W. Marx, München.

INHALT: Zur Berechnung von strebenlosen gegliederten Tragwerken. — Das neue Zigarettenfabrikationsgebäude der Tabakfabrik in Linz a. d. Donau (Österreich). — Die neuen zulässigen Tragkräfte für Niete nach DIN 1050, Berechnungsgrundlagen für Stahl im Hochbau.

Für die Schriftleitung verantwortlich: Geh. Regierungsrat Prof. A. Hertwig, Berlin-Charlottenburg. — Verlag Wilh. Ernst & Sohn, Berlin W9. — Druck: Buchdruckerei Oebrüder Ernst, Berlin SW 68