

# DER STAHLBAU

Schriftleitung:  
Geh. Regierungsrat Professor Dr.-Ing. A. Hertwig, Berlin-Wilmersdorf, Sächsische Str. 43  
Fernsprecher: 87 7421  
Professor W. Rein, Breslau, Technische Hochschule. — Fernsprecher: Breslau 421 61

Beilage  
zur Zeitschrift

## DIE BAUTECHNIK

Fachschrift für das gesamte Bauingenieurwesen

Preis des Jahrganges 10 RM und Postgeld

10. Jahrgang

BERLIN, 19. November 1937

Heft 24

Alle Rechte vorbehalten.

### Über die Stabilität des Kreisbogenträgers mit Zwischengelenken.

Von S. Woinowsky-Krieger, Berlin.

#### 1. Die Problemstellung und die Grundlagen der Lösung.

Ein dünner Kreisbogen vom Halbmesser  $r$  und von einer konstanten Biegesteifigkeit  $EJ$  in seiner Ebene sei einem gleichmäßig verteilten Außendruck  $p$  ausgesetzt. An einer beliebigen Stelle des Bogens sei ein Zwischengelenk eingeschaltet, während die Enden des Bogens entweder drehbar gestützt oder auch eingespannt sein mögen. Unter diesen Voraussetzungen ist derjenige kritische Wert  $p_k$  der Belastung zu bestimmen, bei dem der Bogen in seiner Ebene ausknickt.

Es ist bekannt<sup>1)</sup>, daß die Knicklinie  $w(\varphi)$  eines symmetrisch gelagerten Bogens ohne Zwischengelenke antisymmetrisch verläuft. Sie weist im Bogenscheitel einen Nullpunkt auf, der zugleich ein Wendepunkt ist und in dem zufolge der Grundgleichung der Bogentheorie auch das Biegemoment

$$(1) \quad M = \frac{EJ}{r^2} \left( w + \frac{d^2 w}{d\varphi^2} \right)$$

verschwinden muß (vgl. Bezeichnungen im Bild 1). Hiermit ist auch eine mögliche Biegelinie für den Fall gegeben, daß ein symmetrischer Drei- oder Eingelenkbogen vorliegt. Beim Vorhandensein eines Zwischengelenkes kommt indessen noch eine zweite Knickform in Betracht, die bei einem symmetrischen Bogen symmetrisch ist und sich durch einen scharfen Knick am Gelenk auszeichnet. Im allgemeinen ergibt sich die kleinere und somit die maßgebende Knicklast unter der Voraussetzung dieser letzteren symmetrischen Verformung. Eine sehr brauchbare Näherungsformel für die Knicklast eines Dreigelenkbogens unter Berücksichtigung der symmetrischen Deformation hat bereits F. Engeßer<sup>2)</sup> angegeben. Eine strenge Stabilitätsbedingung des Problems wurde indessen erst im Jahre 1934 von A. Dinnik veröffentlicht. Die einzige bisher bekanntgewordene Ableitung dieser Knickbedingung rührt von A. Nazarov<sup>3)</sup> her. Folgt man in der Entwicklung der Knickformel A. Nazarov und geht von Gl. (1) aus, so ist man auf gewisse vereinfachende Annahmen angewiesen, die, wie sich zeigen läßt, zur Sicherstellung des Schlußergebnisses keineswegs notwendig sind. Auch ist der Einfluß derartiger Vereinfachungen auf den Knickwert der Belastung nicht immer leicht zu übersehen. Es soll daher im folgenden ein allgemeineres Lösungsverfahren benutzt werden, welches von der vollständigen Differentialgleichung 6. Ordnung für die Verschiebungskomponenten des Bogens Gebrauch macht<sup>4)</sup>. Man erspart sich dabei weitläufige geometrische Betrachtungen in jedem Einzelfall und kommt auch dann, wenn kompliziertere Probleme vorliegen, verhältnismäßig rasch zum Ziel.

Unter der Voraussetzung, daß der äußere Druck auch nach erfolgter Deformation des Bogens normal zu seiner Achse gerichtet bleibt, gilt für die tangentielle Verschiebung  $v$  der Elemente der Bogenachse (Bild 1) die Differentialgleichung

$$(2) \quad \frac{d^6 v}{d\varphi^6} + (1 + k^2) \frac{d^4 v}{d\varphi^4} + k^2 \frac{d^2 v}{d\varphi^2} = 0.$$

Hierin ist

$$(3) \quad k^2 = 1 + \frac{p r^3}{EJ},$$

wobei  $J$  das Trägheitsmoment des Bogenquerschnitts und  $E$  den Elastizitätsmodul bezeichnen soll. Die allgemeine Lösung der Gl. (2) lautet

$$(4) \quad v = C_1 + C_2 \cdot \cos \varphi + C_3 \cdot \cos k\varphi + C_4 \varphi + C_5 \cdot \sin \varphi + C_6 \cdot \sin k\varphi.$$

Die radiale Verschiebung ist dann

$$(5) \quad w = \frac{d v}{d\varphi} = -C_2 \cdot \sin \varphi - C_3 k \cdot \sin k\varphi + C_4 + C_5 \cdot \cos \varphi + C_6 k \cdot \cos k\varphi,$$

während sich die zusätzlichen, von der Deformation herrührenden Schnittkräfte folgendermaßen ausdrücken lassen:

$$(6) \quad \begin{cases} M = \frac{EJ}{r^2} \left( w + \frac{d^2 w}{d\varphi^2} \right) \\ Q = -\frac{1}{r} \cdot \frac{dM}{d\varphi} = -\frac{EJ}{r^3} \left( \frac{dw}{d\varphi} + \frac{d^3 w}{d\varphi^3} \right) \\ S = -\frac{p r^2}{EJ} \cdot M + \frac{EJ}{r^3} \left( \frac{d^2 w}{d\varphi^2} + \frac{d^4 w}{d\varphi^4} \right). \end{cases}$$

Bei einem Bogen ohne Zwischengelenk stehen den 6 Integrationskonstanten der Gl. (4) je 3 Auflagerbedingungen an den beiden Bogenenden gegenüber. Man erhält die Stabilitätsbedingung des Bogens, indem man die Determinante der betreffenden 6 Bedingungsgleichungen gleich Null setzt. Schaltet man ein Zwischengelenk ein und setzt im Gelenkpunkt einen Knick in der Biegelinie des Bogens voraus, so bedeutet das die Unstetigkeit sämtlicher höheren Ableitungen der Verschiebungsfunktion  $v$  an der gleichen Stelle. Hiermit werden auch die mit einem bestimmten Index versehenen Werte  $C$  im Ansatz (4) zu beiden Seiten des Zwischengelenkes voneinander verschieden. Man hat also 2 Ausdrücke der Form (4) mit insgesamt 12 Konstanten anzuschreiben und die ausfallenden  $2 \cdot 3 = 6$  Randbedingungen durch ebensoviel Übergangsbedingungen am Zwischengelenk zu ersetzen.

Die Funktionen  $v$ ,  $w$  und die betreffenden Schnittkräfte links vom Gelenk seien mit einem Index  $a$ , diejenigen rechts vom Gelenk mit dem Zeichen  $b$  versehen. Im Gelenkpunkt gelten dann zunächst die folgenden 4 Bedingungen

$$(7) \quad v_a = v_b, \quad w_a = w_b, \quad M_a = 0, \quad M_b = 0.$$

Zwei weitere Beziehungen ergeben sich aus der Bedingung des Gleichgewichts aller am Zwischengelenk angreifenden Schnittkräfte, einschließlich der zusätzlichen Kräfte  $Q$  und  $S$ . Wird allgemein mit  $T$  die Projektion einer Schnittkraft auf die zugehörige Tangente zur unverzerrten Bogenachse, mit  $N$  die betreffende Projektion auf die ursprüngliche Normale bezeichnet, so ist die erste dieser Gleichungen

$$\Sigma T = 0$$

oder nach Bild 2:

$$(p r + S_a) \cdot \cos \delta_a + Q_a \cdot \sin \delta_a - (p r + S_b) \cdot \cos \delta_b - Q_b \cdot \sin \delta_b = 0.$$

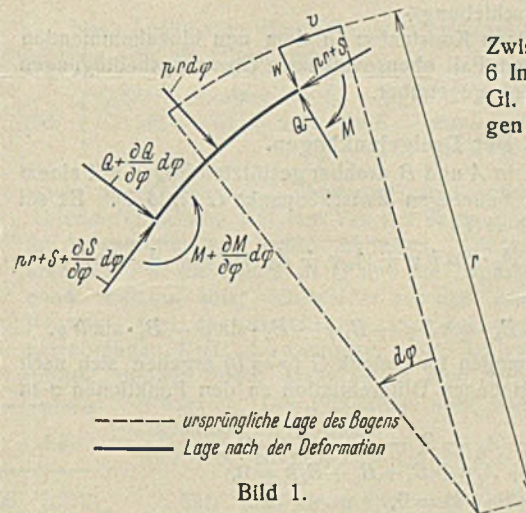


Bild 1.

<sup>1)</sup> Siehe z. B. R. Mayer, Die Knickfestigkeit, S. 136 ff. Berlin 1921.

<sup>2)</sup> Der Eisenbau 1913, S. 425.

<sup>3)</sup> Bautechn. 1936, S. 114. Vgl. hierzu auch Fuchssteiner, Stahlbau 1935, S. 118.

<sup>4)</sup> Vgl. K. Federhofer, Der Eisenbau 1921, S. 291; E. L. Nikolai, Z. ang. Math. 1923, S. 227, sowie Berichte d. Polyt. Instituts Petersburg, Bd. 27 (1918), S. 323; P. Funk, Z. ang. Math. 1924, S. 143. — Eine zusammenfassende Darstellung findet man bei J. Ratzersdorfer, Die Knickfestigkeit von Stäben und Stabwerken, S. 305. Wien 1936.



Setzt man hierin  $\cos \delta_a \sim 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{d w_a}{r d \varphi} \right)^2$ ,  $\sin \delta_a \sim \frac{d w_a}{r d \varphi}$  usw. für  $\delta_b$  und unterdrückt dann sämtliche Glieder, die in höherer Ordnung als  $S$  klein sind, so kommt man zu der Beziehung

$$S_a - S_b = 0.$$

Die Werte  $S$  sind durch Gl. (6) gegeben. Nun ist aber im Gelenkpunkt wegen  $M_a = M_b = 0$  und  $w_a = w_b$  auch  $d^2 w_a / d \varphi^2 = d^2 w_b / d \varphi^2$ . Die fragliche Übergangsbedingung lautet also einfach

$$(8) \quad \frac{d^4 w_a}{d \varphi^4} = \frac{d^4 w_b}{d \varphi^4}.$$

Die Gleichgewichtsbedingung  $\Sigma N = 0$  ergibt in ähnlicher Weise wie zuvor zunächst die Gleichung

$$p \cdot \frac{d w_a}{d \varphi} - Q_a - p \cdot \frac{d w_b}{d \varphi} + Q_b = 0$$

und unter Berücksichtigung der Ausdrücke (6) schließlich die letzte noch fehlende Übergangsbedingung

$$(9) \quad k^2 \cdot \frac{d w_a}{d \varphi} + \frac{d^3 w_a}{d \varphi^3} = k^2 \cdot \frac{d w_b}{d \varphi} + \frac{d^3 w_b}{d \varphi^3}.$$

Die gleich Null gesetzte Determinante des Systems von 6 Auflagerbedingungen und 6 Übergangsbedingungen (7), (8) und (9) ist die gesuchte Knickgleichung. Praktisch läßt sich eine größere Anzahl der Integrationskonstanten vorher eliminieren, so daß die Aufstellung der Knickbedingung in ihrer endgültigen Form keine große Mühe macht. Abgesehen hiervon, verringert sich die Zahl der Grundgleichungen bei etwaiger Symmetrie sofort auf die Hälfte. Das Verfahren bleibt auch dann anwendbar, wenn unter der Voraussetzung einer notwendigen Endeinspannung ein weiteres Zwischengelenk eingeschaltet wird. Einer dritten Verschiebungsfunktion  $v$  mit 6 zugehörigen Konstanten in dem neu hinzukommenden Bogenstab stehen in diesem Fall ebensoviel neue Übergangsbedingungen am zweiten Zwischengelenk gegenüber.

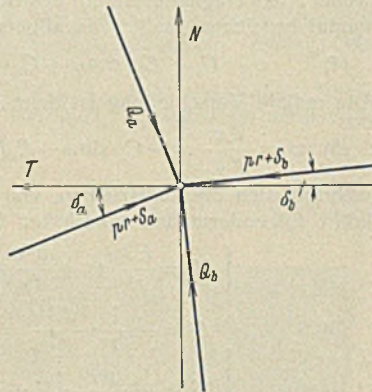


Bild 2.

### 2. Der Dreigelenkbogen.

Wir betrachten einen in A und B drehbar gestützten Bogen mit einem dritten Gelenk in einem beliebigen Zwischenpunkt G (Bild 3). Es sei gesetzt für den Bogenstab AG

$$v_a = A_1 + A_2 \cdot \cos \varphi + A_3 \cdot \cos k \varphi + A_4 \varphi + A_5 \cdot \sin \varphi + A_6 \cdot \sin k \varphi$$

und für den Stab GB

$$v_b = B_1 + B_2 \cdot \cos \varphi + B_3 \cdot \cos k \varphi - B_4 \varphi - B_5 \cdot \sin \varphi - B_6 \cdot \sin k \varphi.$$

Die Übergangsbedingungen im Gelenk G ( $\varphi = 0$ ) ergeben sich nach Ausführung der vorgeschriebenen Differentiation an den Funktionen  $v$  in folgender Form:

$$(10) \quad \begin{cases} A_1 + A_2 + A_3 - B_1 - B_2 - B_3 = 0, \\ A_4 + A_5 + A_6 k + B_4 + B_5 + B_6 k = 0, \\ A_4 - A_6 (k^3 - k) = 0, \\ B_4 - B_6 (k^3 - k) = 0, \\ A_5 + A_6 k^5 + B_5 + B_6 k^5 = 0, \\ A_2 - B_2 = 0. \end{cases}$$

Die Bedingungen  $v = 0$ ,  $w = 0$  und  $M = 0$  in den Auflagergelenken A ( $\varphi = \alpha$ ) und B ( $\varphi = -\beta$ ) liefern die Gleichungen

$$(11) \quad \begin{cases} A_1 + A_2 \cdot \cos \alpha + A_3 \cdot \cos k \alpha + A_4 \alpha + A_5 \cdot \sin \alpha + A_6 \cdot \sin k \alpha = 0, \\ -A_2 \cdot \sin \alpha - A_3 k \cdot \sin k \alpha + A_4 + A_5 \cdot \cos \alpha + A_6 k \cdot \cos k \alpha = 0, \\ A_3 (k^3 - k) \cdot \sin k \alpha + A_4 - A_6 (k^3 - k) \cdot \cos k \alpha = 0, \\ B_1 + B_2 \cdot \cos \beta + B_3 \cdot \cos k \beta + B_4 \beta + B_5 \cdot \sin \beta + B_6 \cdot \sin k \beta = 0, \\ B_2 \cdot \sin \beta + B_3 k \cdot \sin k \beta - B_4 - B_5 \cdot \cos \beta - B_6 k \cdot \cos k \beta = 0, \\ B_3 (k^3 - k) \cdot \sin k \beta + B_4 - B_6 (k^3 - k) \cdot \cos k \beta = 0. \end{cases}$$

Die Konstanten  $A_4, B_1, B_2, B_4, B_5$  und  $B_6$  lassen sich aus den zwölf vorstehenden Gleichungen leicht eliminieren. Das System von nurmehr 6 Gleichungen mit ebenso vielen Unbekannten A und B liefert durch das Nullsetzen ihrer Determinante die vollständige Knickbedingung des Dreigelenkbogens

$$(12) \quad \left\{ \left[ 2 k^3 \cdot \sin \frac{\alpha + \beta}{2} - (k^3 - k)(\alpha + \beta) \cdot \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \right] \cdot \cos \frac{k \alpha}{2} \cdot \cos \frac{k \beta}{2} - 2 \sin \frac{k(\alpha + \beta)}{2} \cdot \cos \frac{\alpha + \beta}{2} \right\} \cdot \sin \frac{k \alpha}{2} \cdot \sin \frac{k \beta}{2} = 0.$$

Die hierin enthaltenen Stabilitätsgleichungen

$$(13) \quad \sin \frac{k \alpha}{2} = 0 \quad \text{und} \quad \sin \frac{k \beta}{2} = 0$$

besagen lediglich, daß die beiden Stäbe AG und GB unabhängig voneinander ausknicken können, wobei sich jeder Stab wie ein Zweigelenkbogen verhält. Das Gelenk G erfährt hierbei keine Verschiebung. Ist der eine Zentrwinkel, etwa  $\alpha$ , sehr viel größer als der andere  $\beta$ , so kann die durch die Gleichung  $\sin \frac{k \alpha}{2} = 0$  gelieferte Knickbelastung

$p_k = \frac{EJ}{r^3} \left( \frac{4 \pi^2}{\alpha^2} - 1 \right)$  sich als die maßgebende erweisen. In der Regel wird das Zwischengelenk C bereits unter einer kleineren Belastung wegknicken. Die Bedingung hierfür ist das Verschwinden des Ausdrucks in der geschweiften Klammer der Gl. (12). Unter der Voraussetzung  $\cos \frac{\alpha + \beta}{2} \neq 0$  ist die betreffende Knickgleichung

$$(14) \quad k^3 \left( \operatorname{tg} \frac{\alpha + \beta}{2} - \frac{\alpha + \beta}{2} \right) + \frac{k(\alpha + \beta)}{2} - \left( \operatorname{tg} \frac{k \alpha}{2} + \operatorname{tg} \frac{k \beta}{2} \right) = 0.$$

Die zugehörige Knickbelastung erhält man aus der kleinsten Wurzel dieser Gleichung mittels der Beziehung (3).

Im wichtigsten Fall des symmetrischen Dreigelenkbogens  $\beta = \alpha$  führt Gl. (14) auf die Knickbedingung von Dinnik-Nazarow

$$(15) \quad k^3 (\operatorname{tg} \alpha - \alpha) + k \alpha - 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{k \alpha}{2} = 0,$$

die für beliebiges  $\alpha$  mit Ausnahme von  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  gilt. Für den Sonderwert

$\alpha = \frac{\pi}{2}$  heißt die entsprechende Stabilitätsbedingung auf Grund der Gl. (12) einfach

$$(16) \quad \cos \frac{k \pi}{4} = 0,$$

woraus  $p_k = 3 EJ/r^3$  folgt. Schließlich ist zu beachten, daß für den Fall  $\beta = \alpha$  die Grundgleichung (12) auch durch die Wurzel von

$$(17) \quad \sin k \alpha = 0$$

befriedigt wird; diese letztere Knickbedingung ist identisch mit derjenigen eines Zweigelenkbogens AB. Es ließe sich leicht zeigen (und folgt

übrigens auch aus der Arbeit von Nazarow), daß Gl. (15) u. (16) mit einer symmetrischen Verformung des Bogens und einer Einknickung des Scheitलगelenkes verknüpft sind, während Gl. (17) eine antisymmetrische Knicklinie mit einem Wendepunkt im Scheitel voraussetzt.

Für  $\alpha < \frac{\pi}{2}$ , d. h. in allen praktisch wichtigen Fällen liefert Gl. (15) die kleinste Knickbelastung. Wie Nazarow an Hand dieser Gleichung gezeigt hat, ist die reduzierte Knicklänge des Dreigelenkbogens

$$(18) \quad l_k = t b,$$

worin  $b = r \alpha$  die Länge des Halbbogens AB bezeichnet und  $t$  zwischen den Werten 1,15 und 1,16 liegt. Indem man  $l_k$  in die Eulersche Knickformel einsetzt, erhält man die kritische Axialkraft des symmetrischen Dreigelenkbogens genau genug zu

$$(19) \quad P_k = p_k r = \frac{\pi^2 EJ}{1,35 b^2}.$$

Versuche über die Knickfestigkeit des Kreisbogens unter Flüssigkeitsdruck, welche Belastungsweise streng genommen von der oben entwickelten Theorie verlangt wird, liegen nicht vor. Parabolische Bogensträger unter annähernd gleichmäßiger lotrechter Belastung, insbesondere auch der Dreigelenkbogen, wurden auf experimentellem Wege eingehend von E. Gaber<sup>5)</sup> untersucht. Die nach Gl. (19) berechneten kritischen Horizontalschübe für Pfeilverhältnisse  $f/l = 1/12$  bis  $1/3$  liegen durchweg unter den Versuchswerten<sup>6)</sup>, zeigen aber eine wesentlich bessere Übereinstimmung mit diesen als die Formeln von Engesser sowie Gl. (4) der DIN 1075. Immerhin beträgt die größte auftretende Differenz (für  $f/l = 1/12$ ) etwa 20%. Da, wie gesagt, die Voraussetzungen der vorliegenden Theorie von der Versuchsanordnung erheblich abweichen, so ist diesem Vergleich

<sup>5)</sup> Bautechn. 1934, S. 646.

<sup>6)</sup> Vgl. hierzu eine zeichnerische Gegenüberstellung bei A. Nazarow.

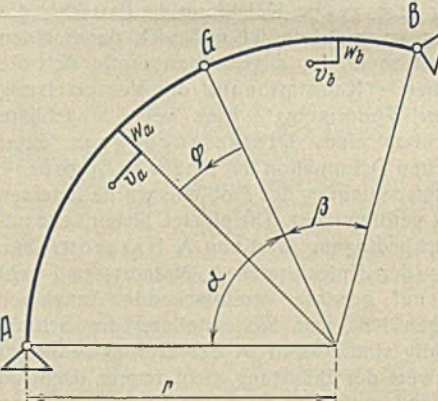


Bild 3.



kein allzu großer Wert beizumessen. Abschließend läßt sich sagen, daß man bei Anwendung der oben entwickelten Formeln auf parabolische Bogenträger jedenfalls auf der sicheren Seite bleibt.

### 3. Der Eingelenkbogen.

Es liege jetzt ein Kreisbogen mit starr eingespannten Kämpfern und einem symmetrisch angeordneten Zwischengelenk vor. Von größerem Interesse ist wieder der Fall der symmetrischen Knickung. Wir können uns hierbei auf die Betrachtung einer Bogenhälfte beschränken und wählen für die betreffende Verschiebungsfunktion  $v(\varphi)$  den Ansatz (4). Die drei dabei in Betracht kommenden Übergangsbedingungen im Scheitel ( $\varphi = 0$ ) lauten:

$$v = 0 \quad M = 0 \quad \Sigma N = 0,$$

während die restlichen 3 Bedingungen bereits durch die Voraussetzung der Symmetrie erfüllt sind.

Zu den Übergangsbedingungen kommen hinzu die Auflagerbedingungen am Bogenende ( $\varphi = \alpha$ )

$$v = 0 \quad w = 0 \quad d w / d \varphi = 0.$$

Aus der Bedingung  $\Sigma N = 0$  folgt nach (9) die Gleichung  $k^2 d w / d \varphi + d^3 w / d \varphi^3 = 0$  für  $\varphi = 0$ , und hieraus ergibt sich  $C_2 = 0$ . Nach Streichung dieser Konstanten liefern die übrigen fünf Bedingungen das folgende System von Gleichungen:

$$(20) \quad \begin{cases} C_1 + C_3 = 0, \\ C_4 - C_6(k^3 - k) = 0, \\ C_1 + C_3 \cdot \cos k\alpha + C_4 \alpha + C_5 \cdot \sin \alpha + C_6 \cdot \sin k\alpha = 0, \\ C_3 k \cdot \sin k\alpha - C_4 - C_5 \cdot \cos \alpha - C_6 k \cdot \cos k\alpha = 0, \\ C_3 k^2 \cdot \cos k\alpha + C_5 \cdot \sin \alpha + C_6 k^2 \cdot \sin k\alpha = 0. \end{cases}$$

Die zugehörige Knickbedingung für den Fall  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  ist

$$(21) \quad \begin{cases} k^4 (\operatorname{tg} \alpha - \alpha) \cdot \cotg k\alpha - k^3 \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha + k^2 (\alpha \cdot \cotg k\alpha + 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \frac{k\alpha}{2}) \\ + k (\alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha - 1) - 2 \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \operatorname{tg} \frac{k\alpha}{2} = 0. \end{cases}$$

Im Sonderfall  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  bleiben nur die Glieder mit dem Multiplikator  $\operatorname{tg} \alpha$  stehen. Die Knickgleichung heißt dann also

$$(22) \quad k^4 \cdot \cotg \frac{k\pi}{2} - \frac{k^3 \pi}{2} + 2 k^2 \cdot \operatorname{tg} \frac{k\pi}{4} + \frac{k\pi}{2} - 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{k\pi}{4} = 0.$$

Was die antisymmetrische Knickform anbelangt, so ist die betreffende Stabilitätsgleichung mit derjenigen Knickbedingung des gelenklosen Bogens identisch, die einen Wendepunkt der Elastica im Bogenscheitel voraussetzt. Diese Gleichung hat die Form<sup>7)</sup>

$$(23) \quad k \cdot \operatorname{tg} \alpha - \operatorname{tg} k\alpha = 0.$$

Für  $\alpha \leq \frac{\pi}{2}$  liefern Gl. (21) u. (22) Knickwerte, die um durchschnittlich 45% kleiner sind als die kritischen Belastungen nach Gl. (23). Nachstehend sind die kleinsten Wurzeln  $k$  der Gl. (21) u. (22), die maßgebenden Knickbelastungen  $p_k$  und die zugehörigen Reduktionsfaktoren  $t = l_k/b$  zusammengestellt.

$\alpha^\circ$	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$k$	19,02	9,55	6,42	4,87	3,95	3,341	2,917	2,606	2,370
$p_k \cdot \frac{r^3}{EJ} = k^2 - 1$	361	90,2	40,2	22,7	14,6	10,16	7,51	5,79	4,62
$t = \frac{180}{\alpha^\circ \sqrt{k^2 - 1}}$	0,947	0,947	0,946	0,945	0,943	0,941	0,938	0,935	0,931

Man darf also die reduzierte Knicklänge gleich

$$l_k = 0,947 b$$

und die kritische Axialkraft gleich

$$(24) \quad P_k = p_k r = \frac{\pi^2 EJ}{0,90 b^2}$$

setzen, wobei  $b$  wieder die Bogenlänge vom Scheiteltgelenk bis zur Einspannung bezeichnen soll.

Wendet man die Formel (24) auf den parabolischen Versuchsbogen von E. Gaber mit einem Gelenk und  $f/l = 1/12$  an, so wird man finden, daß der theoretische Knickwert um rd. 19% unter dem experimentellen liegt. Die Differenz ist also nahezu genau die gleiche wie bei der Anwendung der Formel (19) auf die Versuche am parabolischen Modell mit drei Gelenken.

<sup>7)</sup> Vgl. J. Ratzersdorfer, S. 310.

### 4. Der Bogen mit Zugband.

Es läßt sich unschwer übersehen, daß ein nachgiebiges Zugband zwischen den Auflagergelenken eines Bogens an Stelle der bisher angenommenen festen Stützung die symmetrische Ausknickung des Bogens besonders begünstigen kann. Zur näheren Klärung dieser Frage soll in erster Linie der Dreigelenkbogen mit Zugband und symmetrisch liegendem Zwischengelenk behandelt werden. Die Untersuchung bleibt, wie dies schon im vorigen Abschnitt der Fall war, auf die symmetrische Knickform beschränkt. Da es offenbar nur auf die gegenseitige Verschiebung der beiden Auflagergelenke ankommt, so darf der im waagerechten Sinne feste Stützpunkt an beliebiger Stelle des Zugbandes gewählt werden. Zur Wahrung der Symmetrie sei das Zugband in der Scheitel senkrechten festgehalten (Bild 4).

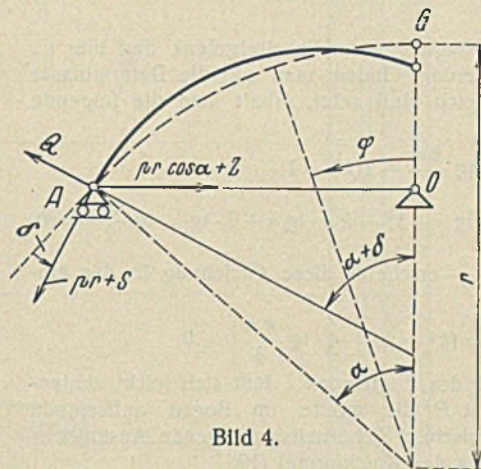


Bild 4.

Wir gehen wieder von dem Ansatz (4) aus. Die Übergangsbedingungen im Scheitel ( $\varphi = 0$ ) dürfen ohne Änderung aus dem vorigen Abschnitt übernommen werden. Es ist also  $C_2 = 0$ , und ebenso gelten die beiden ersten Gleichungen des Systems (20):

$$(25) \quad \begin{cases} C_1 + C_3 = 0, \\ C_4 - C_6(k^3 - k) = 0. \end{cases}$$

Von den Auflagerbedingungen lassen sich zwei sofort anschreiben. Die eine von ihnen setzt das Moment im Auflagergelenk, die andere die Verschiebung des Auflagers in der lotrechten Richtung gleich Null. Wir haben also in  $\varphi = \alpha$

$$M = 0 \quad \text{und} \quad \eta = v \cdot \sin \alpha + w \cdot \cos \alpha = 0.$$

Nach Ausführung aller erforderlichen Operationen an der Funktion (4) ergeben sich die Gleichungen

$$(26) \quad \begin{cases} C_3(k^3 - k) \cdot \sin k\alpha + C_4 - C_6(k^3 - k) \cdot \cos k\alpha = 0, \\ C_1 \cdot \sin \alpha - C_3(k \cdot \cos \alpha \cdot \sin k\alpha - \sin \alpha \cdot \cos k\alpha) + C_4(\cos \alpha + \alpha \cdot \sin \alpha) \\ + C_5 + C_6(k \cdot \cos \alpha \cdot \cos k\alpha + \sin \alpha \cdot \sin k\alpha) = 0, \end{cases}$$

worin die Konstante  $C_2$  überhaupt nicht enthalten ist. Die letzte noch fehlende Gleichung läßt sich aus der Bedingung des Gleichgewichtes der in A angreifenden Kräfte herleiten. Diese Kräfte sind: die Längskraft  $p r + S$ , die Querkraft  $Q$  und die Zugkraft  $p r \cdot \cos \alpha + Z$  im Zugband. Letztere setzt sich wieder aus dem ursprünglichen Horizontalzug  $p r \cdot \cos \alpha$  und der zusätzlichen, von der angenommenen Deformation herrührenden Kraft  $Z$  zusammen. Der Auflagerquerschnitt des Bogens erfahre infolge dieser Deformation eine Drehung um einen kleinen Winkel  $\delta$ . Die Projektion aller Kräfte auf die Richtung des Zugbandes ergibt dann

$$(p r + S) \cdot \cos(\alpha + \delta) + Q \cdot \sin(\alpha + \delta) - (p r \cdot \cos \alpha + Z) = 0.$$

Setzt man hierin  $\sin \delta \approx \operatorname{tg} \delta = \frac{d w}{r d \varphi}$  sowie  $\cos \delta \approx 1$  und vernachlässigt dann sämtliche Glieder von höherer als der ersten Kleinheitsordnung, so erhält man dieselbe Gleichgewichtsbedingung in der Form

$$(27) \quad \left( Q - p \frac{d w}{d \varphi} \right) \cdot \sin \alpha + S \cdot \cos \alpha - Z = 0.$$

Nun ist die waagerechte Verschiebung des Punktes A in der Richtung OA gleich  $\xi = v \cdot \cos \alpha - w \cdot \sin \alpha$ . Andererseits darf man  $\xi = Z \epsilon$  setzen, wo  $\epsilon$  einen festen Wert bezeichnen soll. Für ein elastisches Zugband mit dem Querschnitt  $F_2$  und einem Elastizitätsmaß  $E_2$  ist  $\epsilon = r \cdot \sin \alpha / E_2 F_2$ . Führt man noch eine dimensionslose Größe

$$(28) \quad \lambda = \frac{EJ}{E_2 F_2 r^2}$$

ein, so wird

$$(29) \quad \epsilon = \frac{\lambda r^3 \cdot \sin \alpha}{EJ}$$

und hiernach also

$$v \cdot \cos \alpha - w \cdot \sin \alpha = \xi = Z \epsilon = \frac{Z \lambda r^3 \cdot \sin \alpha}{EJ}.$$

Neben  $Q$  und  $S$  läßt sich jetzt auch  $Z$  durch die Verschiebungen ausdrücken. Ermittelt man nun  $Q$ ,  $S$  und  $Z$  aus dem Ansatz (4), setzt



dann  $\varphi = \alpha$  und geht mit den erhaltenen Ausdrücken in Gl. (27) ein, so ergibt sich die dritte Auflagerbedingung in der Form

$$(30) \begin{cases} C_1 \cdot \cos \alpha + C_2 [1 - \lambda (k^2 - 1) \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos \alpha] \\ + C_3 [k \cdot \sin \alpha \cdot \sin k \alpha + \cos \alpha \cdot \cos k \alpha - \lambda k^3 (k^2 - 1) \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \sin k \alpha] \\ + C_4 (\alpha \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) - C_5 \lambda (k^2 - 1) \cdot \sin^3 \alpha \\ + C_6 [-k \cdot \sin \alpha \cdot \cos k \alpha + \cos \alpha \cdot \sin k \alpha + \lambda k^3 (k^2 - 1) \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \cdot \cos k \alpha] \end{cases} = 0.$$

Mit Rücksicht auf die Bedingungen im Scheiteltgelenk darf hier  $C_2$  noch nachträglich gestrichen werden. Indem man nun die Determinante des Systems (25), (26), (30) gleich Null setzt, erhält man die folgende Knickbedingung des Problems

$$(31) \begin{cases} k^3 (\operatorname{tg} \alpha - \alpha) + k \alpha - 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{k \alpha}{2} - \lambda (k^2 - 1) \cdot \\ \cdot \sin^3 \alpha \left[ k^3 (\operatorname{cosec}^2 \alpha + \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha + 1) - k \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha + 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{k \alpha}{2} \right] \end{cases} = 0.$$

Im speziellen Fall  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  erscheint diese Gleichung in der einfacheren Form

$$(32) \quad 2 k^3 - \lambda (k^2 - 1) \left[ \pi (k^3 - k) + 4 \cdot \operatorname{tg} \frac{k \pi}{4} \right] = 0.$$

Das Maß der Dehnbarkeit des Zugbandes  $\lambda$  läßt sich leicht zahlenmäßig abschätzen. Bezeichnet  $P$  die größte im Bogen auftretende Axialkraft und  $\nu$  den rechnerischen Sicherheitsgrad gegen Ausknicken in der Trägerebene, so folgt aus der Knickformel (19)

$$P = \frac{\pi^2 EJ}{1,35 \nu b^2} = \frac{\pi^2 EJ}{1,35 \nu r^2 \alpha^2}$$

Da andererseits der Querschnitt  $F_z$  des Zugbandes nach dem Horizontalzug  $P \cdot \cos \alpha$  zu bemessen ist, so gilt die Beziehung

$$P = \frac{\sigma_z F_z}{\cos \alpha},$$

wo  $\sigma_z$  gleich der zulässigen Spannung im Zugband ist oder etwas darunter liegt. Aus den beiden vorigen Gleichungen folgt unmittelbar

$$\frac{EJ}{r^2 F_z} = \frac{1,35 \nu \alpha^2 \sigma_z}{\pi^2 \cdot \cos \alpha}$$

Indem man diese Beziehung mit Gl. (28) vergleicht, erhält man endgültig

$$(33) \quad \lambda = \frac{1,35}{\cos \alpha} \cdot \frac{\alpha^2}{\pi^2} \cdot \frac{\nu \sigma_z}{E_z}$$

Der vorschriftsmäßige Sicherheitsgrad gegen Knicken beträgt für Stahlbogen (im elastischen Bereich)  $\nu = 3,5$  und für massive Brückenbogen  $\nu = 3,0^9)$ . Der Wert  $\sigma_z$  schwankt bei einem stählernen Zugband je nach

<sup>9)</sup> Sind bei der Bemessung des Bogens die Biegemomente ausschlaggebend, so kann der  $\nu$ -Wert sehr viel höher ausfallen; in diesem Falle wird aber die Stabilität des Bogens zu einer Frage von untergeordneter Bedeutung.

dem gewählten Werkstoff und dem Grad der Materialausnutzung zwischen etwa 1,2 und 2,1 t/cm<sup>2</sup>. Der Wert  $\nu \sigma_z$  liegt unter diesen Voraussetzungen zwischen rd. 4 und 8 t/cm<sup>2</sup>. Man darf nun setzen

$$P_{zk} = \mu P_k,$$

wo  $P_{zk}$  die kritische Normalkraft des Dreigelenkbogens mit Zugband,  $P_k$  den nach Gl. (19) berechneten Knickwert für den unverschieblich gelagerten, sonst aber gleichen Bogen und  $\mu$  eine Abminderungszahl bezeichnet. Die Zahlen  $\mu$  für verschiedene Werte  $\nu \sigma_z$  und einige kleinere Winkel  $\alpha$  sind unter der Annahme  $E_z = 2100$  t/cm<sup>2</sup> nachstehend zusammengestellt.

$\nu \sigma_z$ t/cm <sup>2</sup>	$\alpha^0 =$ $f/l =$	10° 1/22,7	20° 1/11,3	30° 1/7,46
0	$\mu =$	1,000	1,000	1,000
5		0,906	0,977	0,998
10		0,792	0,954	0,996
15		0,676	0,929	0,993
—	$10^6 \cdot \frac{\lambda}{\nu \sigma_z}$	2,015	8,45	20,62

Der Knickwert der Axialkraft wird somit praktisch nur bei sehr flachen Bogen durch die Elastizität des Zugbandes beeinflusst. Dann allerdings kann dieser Einfluß sehr erheblich werden. Bogenträger von Brücken werden nur bei untenliegender Fahrbahn mit Zugbändern ausgeführt. Ein Bedürfnis nach außergewöhnlich kleinem Pfeilverhältnis kann hierbei kaum vorliegen, und somit braucht man bei dem Stabilitätsnachweis von Brückenträgern keine Rücksicht auf die Abminderungszahl  $\mu$  zu nehmen.

In ähnlicher Weise wie der Einfluß des Zugbandes kann die Einwirkung einer elastischen Nachgiebigkeit der Widerlager auf die Knicksicherheit des Bogens erfaßt werden.

Der Fall des Zweigelenkbogens mit Zugband läßt sich im wesentlichen durch den Ansatz

$$v = C_1 + C_2 \cdot \cos \varphi + C_3 \cdot \cos k \varphi,$$

dem eine Biegelinie  $w(\varphi)$  mit einem Wendepunkt im Scheitel entspricht, erledigen. Die Bedingungsgleichungen (26) und (30), in denen die Konstanten  $C_4, C_5$  und  $C_6$  wegzulassen sind, führen dann zu der bekannten Knickgleichung des Zweigelenkbogens

$$\sin k \alpha = 0.$$

Der beim Zweigelenkbogen maßgebende Knickfall bleibt somit durch die Elastizität eines Zugbandes gänzlich unbeeinflusst. (Schluß folgt.)

## Der Neubau der Reichszeugmeisterei der NSDAP an der Tegernseer Landstraße in München.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Dr.-Ing. Wilhelm Weiß, München.

Unter den Großbauten, welche seit der Machtübernahme durch den Führer und Reichskanzler in München ausgeführt werden, darf das besondere Interesse des Technikers eine Bauanlage beanspruchen, welche an der Tegernseer Landstraße in raschem Fortschreiten begriffen ist und welche ihre Entstehung der tatkräftigen Initiative des Reichsschatzmeisters Schwarz verdankt. Im Mittelpunkt dieser ausgedehnten und einzigartigen Anlage, die verwaltungstechnisch einen in sich geschlossenen, nach neuzeitlichen Gesichtspunkten erbauten Betrieb darstellen wird, steht die Reichszeugmeisterei; ihr reihen sich an: der Heimatbahnhof für den „Reichsautozug Deutschland“ und für den „Hilfszug Bayern“ mit zwei Großgaragen und einer Untergarage einschließlich Werkstätte, Tankanlage und Verwaltungsbauten, ferner das Fernheizwerk, das die ganze Anlage mit Wärme versorgen wird, sowie zwei große Wohnhausblöcke (Bild 1). Von diesen Bauwerken dürfen als reine Stahlbauten angesprochen werden: die Reichszeugmeisterei (Stahlskelettbau), die Werkstätte mit Tankanlage und die Garagen<sup>1)</sup>. Über den Bau der Reichszeugmeisterei sollen die nachfolgenden Ausführungen berichten; für die übrigen Stahlbauten sind weitere Beschreibungen in Aussicht genommen.

Der Neubau der Reichszeugmeisterei umschließt in einem Rechteck einen vorhandenen, in Eisenbeton ausgeführten Lagerhausbau, dessen

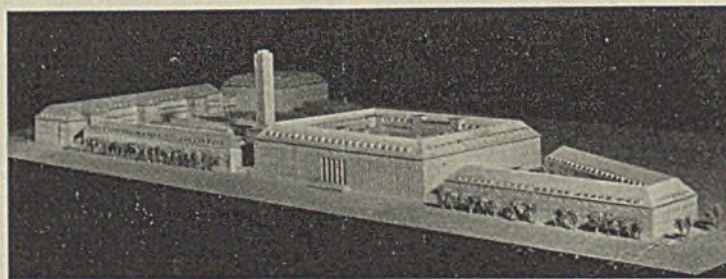


Bild 1. Modellaufnahme.

Enden auf beiden Seiten überbaut werden und der damit in den Bereich der Reichszeugmeisterei einbezogen ist (Bild 2 u. 3). Die Umschließung dieses Altbaues geschah in der Weise, daß östlich der Verladehof und westlich der Garagenhof entstanden, welche beide durch schwere Stahlrahmen und starke Eisenbetondecken mit Luxer-Oberlichtern unterkellert wurden (Bild 2, 3 u. 4). So entstanden zusammen mit den weiträumigen

Kellern des Geschoßbaues ausgedehnte Lagerräume für Güter aller Art und eine geräumige Untergarage für den Reichsautopark. Die Front der Reichszeugmeisterei an der Tegernseer Landstraße mißt ebenso wie die Rückseite nach der Soyerrhofstraße rd. 109 m, während die Länge der beiden Stirnseiten sich auf rd. 85 m beläuft. Außer einem Keller- und Erdgeschoß besitzt der Bau drei Obergeschosse und ein Dachgeschoß mit einem darüberliegenden Dachraum, der für die Aufstellung von Behältern

und sonstigen der Installation dienenden Apparaten und Leitungen ausgenutzt ist. Der Bewegungsmöglichkeit des Baues infolge von Temperaturschwankungen dienen sechs von oben bis unten durchgehende Dehnungsfugen (in Bild 2 mit  $D$  bezeichnet), davon je zwei in den Längsseiten und je eine in den Stirnseiten (Bild 14). Bei dem Anschluß des Neubaus an die Stirnseiten des Altbaues mußten schwierige Unterfangungsarbeiten durchgeführt werden; die übrigen Gründungsarbeiten bereiteten bei dem guten Baugrund keinerlei Schwierigkeiten. Sämtliche Stahlstützen ruhen auf Einzelfundamenten, während die Stützen der Windrahmen jeweils auf

<sup>1)</sup> S. a. Stahlbau 1936, S. 132/34.



einem gemeinsamen Fundament verankert sind. Zur Abdämmung von Erschütterungen durch den starken Lastwagenverkehr auf der Tegernseer Landstraße wurden die den ganzen Bau umgebenden Lichtschächte und die Kellerüberdeckungen mit Preßkorkplatten geschützt, ferner wurden zwischen den Stützen-Fußplatten und den Fundamenten die bekannten Antivibrir-Platten eingelegt. Die Art der Ausführung der Fundamente zeigen die Bilder 5 u. 6. Als leitender Gesichtspunkt bei der räumlichen Gliederung des Bauwerkes war grundsätzlich die Aufteilung der Längs- und Querseiten in zwei durchgehende Fluchten von Räumen mit einer Breite von 5,5 und 6,5 m zugrunde gelegt worden (Bild 3).

Das Stahlskelett der Reichszeugmeisterel gliedert sich in: 1. die Stützen, 2. die an diesen entlanglaufenden und die Decken tragenden Längs- $\square$ -Profile, 3. die Stahldecken, 4. die Stahldachrahmen mit der Stahldachhaut und 5. die Windrahmen. Die in Bimsbeton eingebetteten Stützen zeigen die meist übliche Ausführung in breitflanschigen Trägern und bestehen aus St 37; für die Längs- $\square$ -Profile wurde aus Gründen der Einsparung an Gewicht und Höhe St 52 gewählt (Bild 7). Die Deckenausführung ist insofern bei diesem Bau ein bemerkenswerter Fortschritt, als aus besonderen Gründen Stahldecken ausgeführt wurden nach den Bauarten der Fried. Krupp A.-G. Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen, und der Maschinen-Fabrik Augsburg-Nürnberg, Werk Gustavsburg. Diese Stahldecken mit den aus Bild 8 u. 9 ersichtlichen Profilen aus St 37 sind in

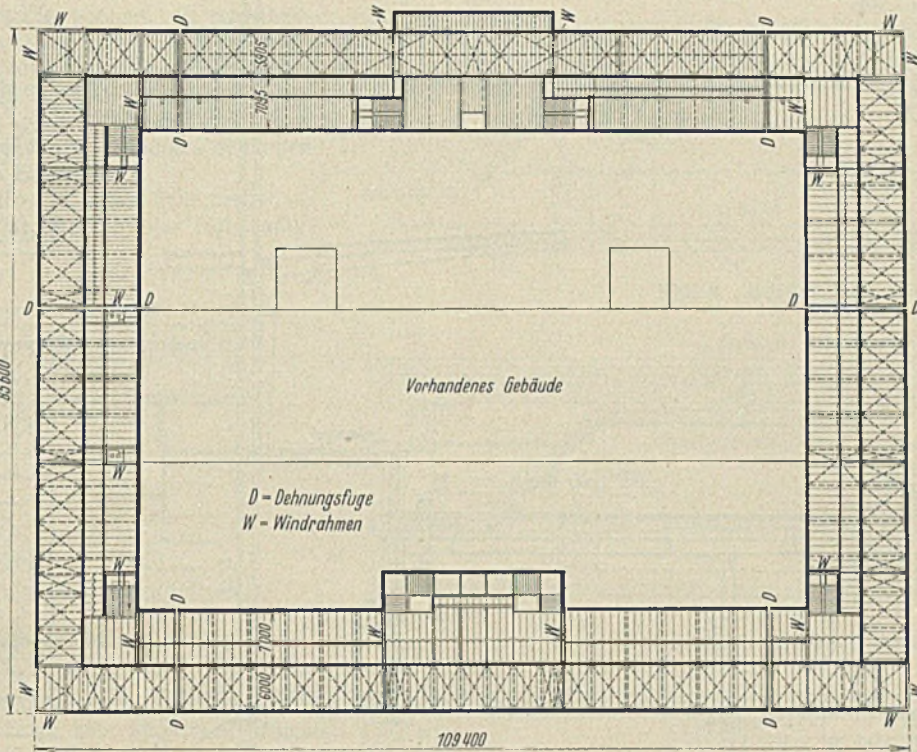


Bild 2. Grundriß. III. Obergeschoß.

aus St 52 notwendig geworden, welche die anteiligen Lasten des 3. Obergeschosses sowie des Dachgeschosses bzw. des gesamten Daches aufzunehmen hatten. Die Konstruktion des Rahmens und die Art der Aufnahme der Deckenlasten — die untere Decke ist durch Hängestangen an dem Rahmen aufgehängt — gehen aus Bild 12 hervor.

Der ganze gewaltige Bau wurde in allen seinen Einzelheiten den Grundsätzen des Skelettbaus entsprechend durchgeführt. Demgemäß sind in dem Bauwerk auch keine tragenden Mauern vorhanden; sämtliche Deckenlasten werden durch die Längs- $\square$ -Profile unmittelbar in die Stützen und durch diese über die Fundamente in den Baugrund abgeleitet. Um eine genügende Wärmehaltung der Außenwände zu gewährleisten, wurden diese als 38 cm starke Wände ausgebildet und, um

den Wärmeschutz noch zu erhöhen, wurden Wabensteine verwendet. Die Windlasten werden bei der getroffenen Anordnung durch die als starre Scheiben wirkenden Decken auf die Windrahmen übertragen und durch diese über die Fundamente dem Baugrund zugeführt.

Die Stahldecken genügen — ebenso wie auch jede Massiv-Deckenkonstruktion — für sich allein den Anforderungen in Bezug auf Schutz gegen Tritt- und Luftschall keineswegs. Außer der schon erwähnten Vorkehrung bei der Auflagerung der Stahldecken in den Längs- $\square$ -Profilen, welche nur einen sehr geringfügigen Material- und Kostenaufwand verursachte, war es notwendig, in der auch sonst allgemein üblichen Weise

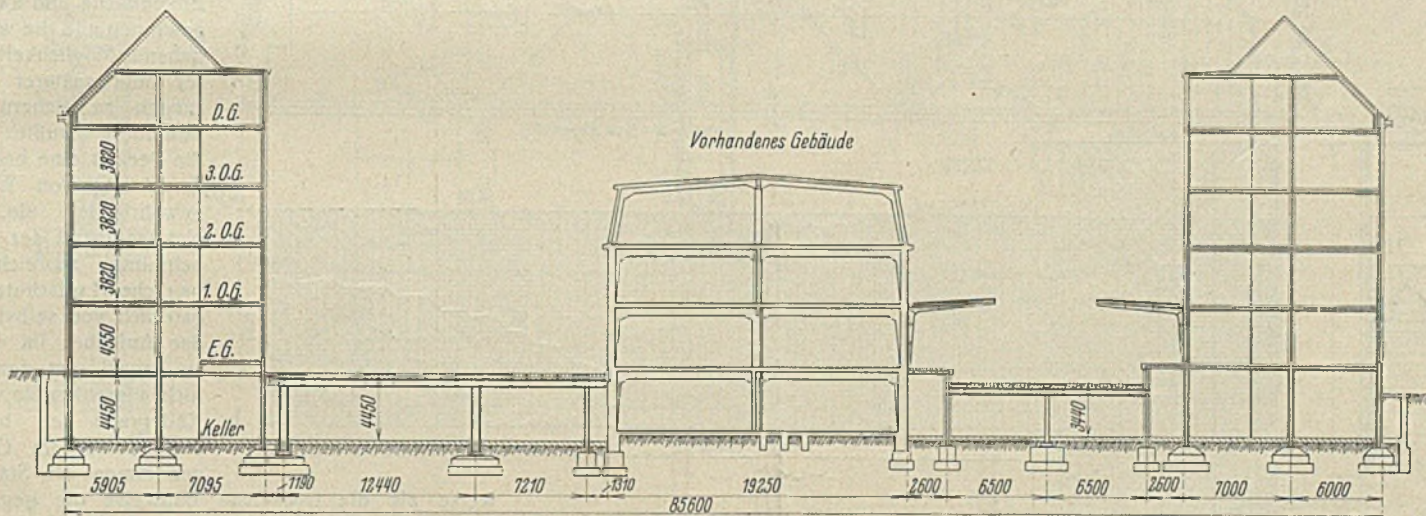


Bild 3. Querschnitt.

die erwähnten Längs- $\square$ -Profile an den Stützen eingebaut und mit diesen verschraubt. Um den Anforderungen in Bezug auf Schalldämpfung zu genügen, wurden Antivibrirstreifen zwischen den Stahldecken und den  $\square$ -Profilflanschen eingeschaltet, so daß etwa durch die Stahldecken geleiteter Trittschall keine Möglichkeit der Weiterleitung in die Längs- $\square$ -Profile und Stützen findet (Abb. 7). Ebenso wie die Zwischendecken wurde auch die Dachhaut in Stahl ausgebildet, und zwar ausschließlich mit den sog. Kruppschen Doppelwinkeln, welche auch für einen Teil der Decken verwendet wurden (Bild 10). Zusammen mit den Stahlrahmen-Bindern entstand so eine äußerst solide und gegen äußere Einwirkung besonders widerstandsfähige Tragkonstruktion. Die vollwandigen Windrahmen, nach Bild 11 ausgeführt, bestehen durchweg aus St 52.

Da der Neubau sich beträchtlich über dem Altbau erhebt und dieser durch Lasten des Neubaus nicht beansprucht werden durfte, auch Stützenstellungen an der Nord- und Südwand des Altbaus vermieden werden mußten, so waren über diesen Wänden schwere Rahmenkonstruktionen

eine Schallausstrahlung aus den Decken in die Räume weitestgehend zu unterbinden. Deshalb wurde der Estrich nicht unmittelbar auf die Stahldecke aufgebracht, sondern eine Schalldämm-Matte (die EZO-Matte) dazwischengeschaltet. Infolge richtiger Durchführung des Trennungsgrundsatzes, der in gleichem Maße auch für Estrich und angrenzende Wand gilt, wurde durch eine Dämmschicht (Absorbirstreifen) zwischen Estrich und Wand eine Verbindung, die als Schallbrücke wirken könnte, verhindert. Diese Anordnung des Estrichs wird bekanntlich als „schwimmend“, d. h. getrennt von Decke und Wand, bezeichnet. Als Baustoff für den Estrich war für die nach außen liegenden Räume durchweg Bimsbeton in einer Dicke von 5 bis 7 cm, für die den Höfen zugekehrten Räume Diara-(Gips)Estrich in gleicher Stärke gewählt worden. Während bei dem Bimsbeton das Eichenparkett in heißem Asphalt aufgebracht werden mußte, war bei dem Diaraestrich Nagelung möglich.

Die Bilder 8 u. 9 lassen die einfache und zweckmäßige Art der Anbringung der Putzdecke erkennen. An den zur Aussteifung der Stahl-



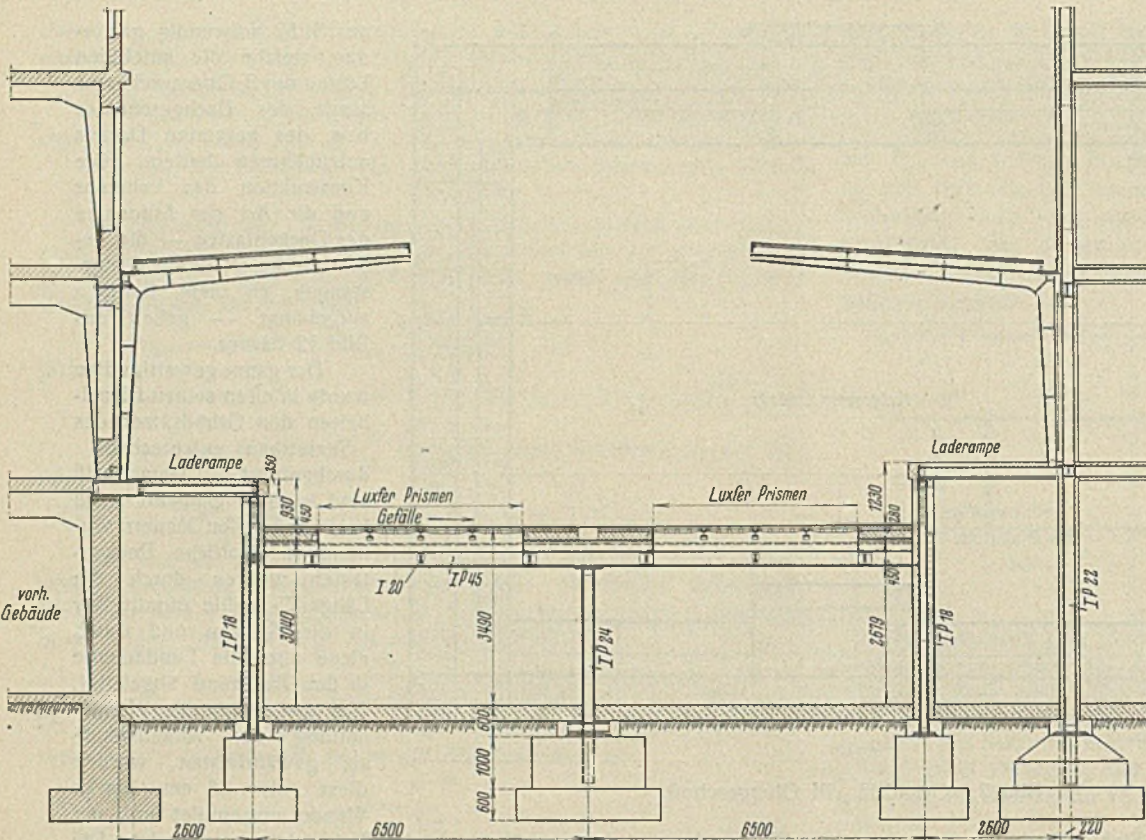


Bild 4. Querschnitt durch den östlichen Verladehof.

decke in den Mulden eingeschweißten winkelförmigen Blechen (Schotten) wurden Holzleisten angeschraubt und an diese die als Putzträger dienenden Heraklith-Platten befestigt. Ebenso einfach gestaltete sich die Ausführung des Ziegeldaches (Bild 10). Zum Schutze der Stahlhaut gegen Schwitz-

wasserbildung wurde auf der Außenfläche eine 2 cm starke Korksteinschicht aufgeklebt. Es erübrigt nur noch, einige Hinweise auf Konstruktion und Aufstellung des Stahlerippes zu geben und auf einige Gesichtspunkte einzugehen, welche die besondere Zweckmäßigkeit der Stahlskelettbauweise bei diesem Bauwerk begründen.

Ausschlaggebend für die Ausführung in Stahlskelettbauweise war die

Forderung, durch Einsparung an Mauerwerk möglichst viel nutzbare Bodenfläche und Raum zu gewinnen und die weitestgehende Möglichkeit früherer oder späterer Änderungen zu sichern; insbesondere mußte durch die Decken eine beliebige Anordnung von Wänden gewährleistet sein. Die Notwendigkeit der Wahrnehmung ausreichenden baulichen Luftschutzes ergab sich von selbst. Mit der Aufgabe, im Winter zu bauen, von dem man nicht wissen konnte, welche Kältegrade er bringen würde, war im Grunde genommen die Stahlbauweise als die trockenste Bauweise die gegebene.

Im vorliegenden Falle kam durch die Stahldecken der wichtige Vorteil hinzu, daß auch die Decken vollkommen trocken und zugleich voll belastungsfähig eingebaut werden konnten. Zudem haben diese Decken bei hoher Tragkraft ein sehr geringes Gewicht — die Rohdecke wiegt kaum 50 kg/m<sup>2</sup> — und ihr Einbau kann ohne jegliche Rüstung erfolgen. Es war somit praktisch die Möglichkeit vorhanden, sofort nach dem Einbau mit Installationsarbeiten zu beginnen. Auch für die Aufstellung des Skeletts bieten diese Decken insofern einen wertvollen Vorteil, als sie sofort einen steifen waagerechten Verband bilden, welcher bei hohen Bauten für die Standsicherheit des Baues während der Aufstellung sehr erwünscht ist. Das geringe Gewicht der Decken bei niedriger Bauhöhe (17 cm) wirkt sich in einer bemerkenswerten Verringerung der Stützenlasten und damit in einer Einsparung an Stahl für die Stützen und naturgemäß auch an den Fundamenten aus, die ent-

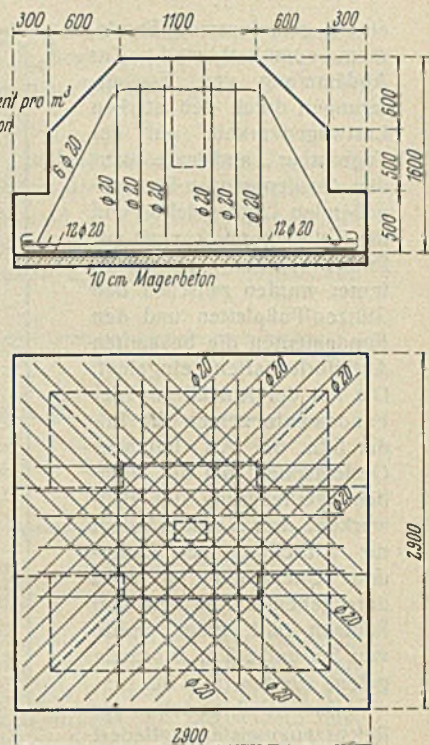


Bild 5. Normales Stützenfundament.

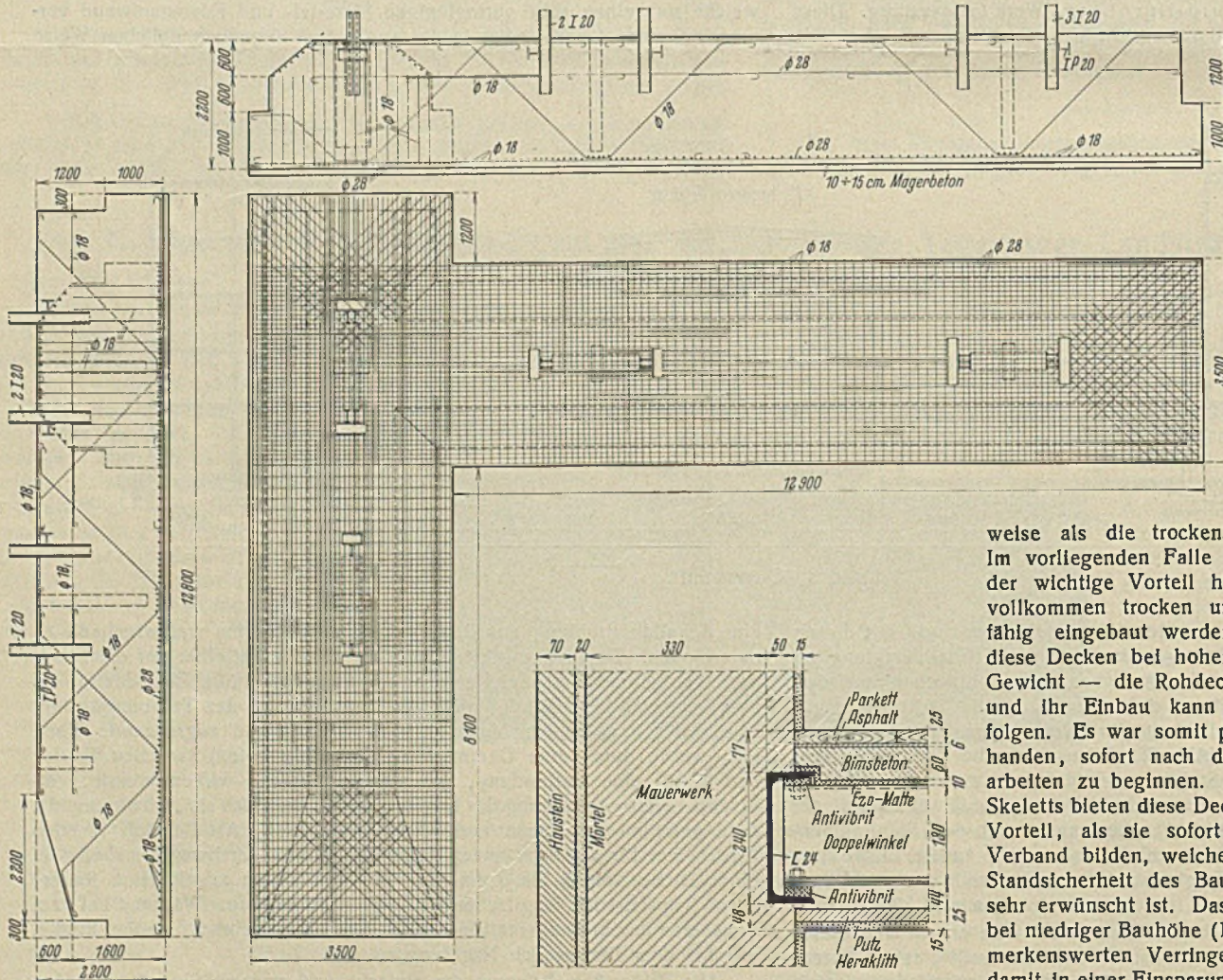


Bild 6. Eckwindrahmen-Fundament.

Bild 7. Ausbildung der Schallsisolierung.



sprechend kleiner gehalten werden können. In schönheitlicher Hinsicht ist auch die Tatsache zu werten, daß Unterzüge durch die Stahldecken entfallen; beim Neubau der Reichszeugmeisterei machen die in langen Fluchten durchlaufenden Räume mit ihren glatten Untersichten ohne jeden Unterzug einen beruhigenden und überaus günstigen Eindruck. Bild 13 dürfte dies bestätigen.

Eine Frage, der im Skelettbau in jedem Falle besondere Aufmerksamkeit zu widmen ist, liegt in der Notwendig-

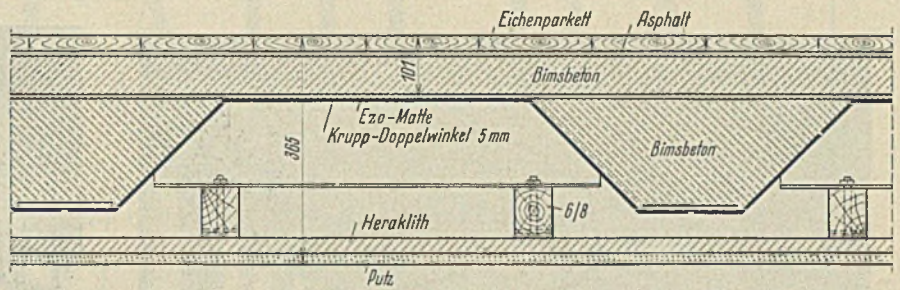


Bild 8. Deckenausbildung.

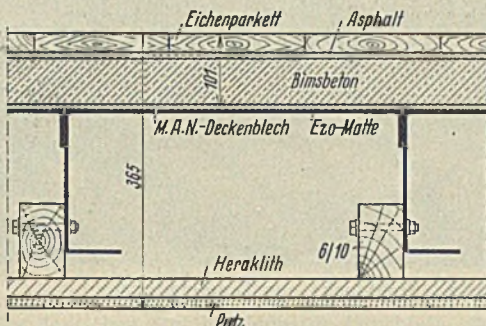


Bild 9. Deckenausbildung.

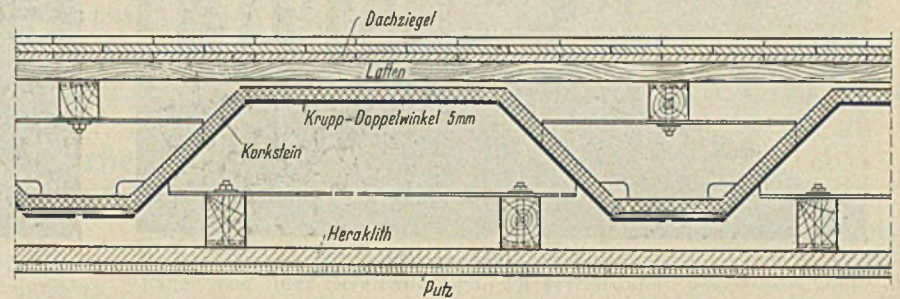
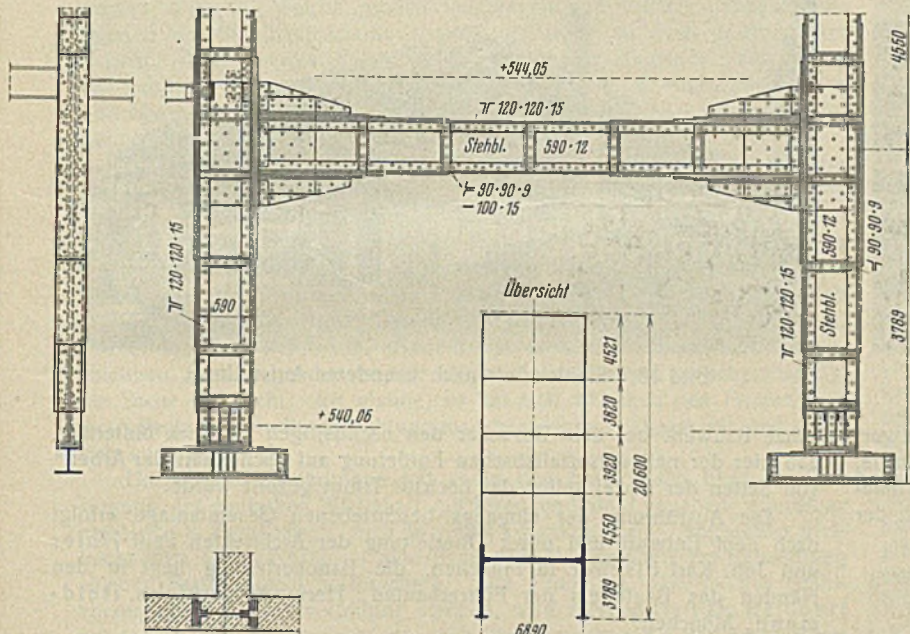


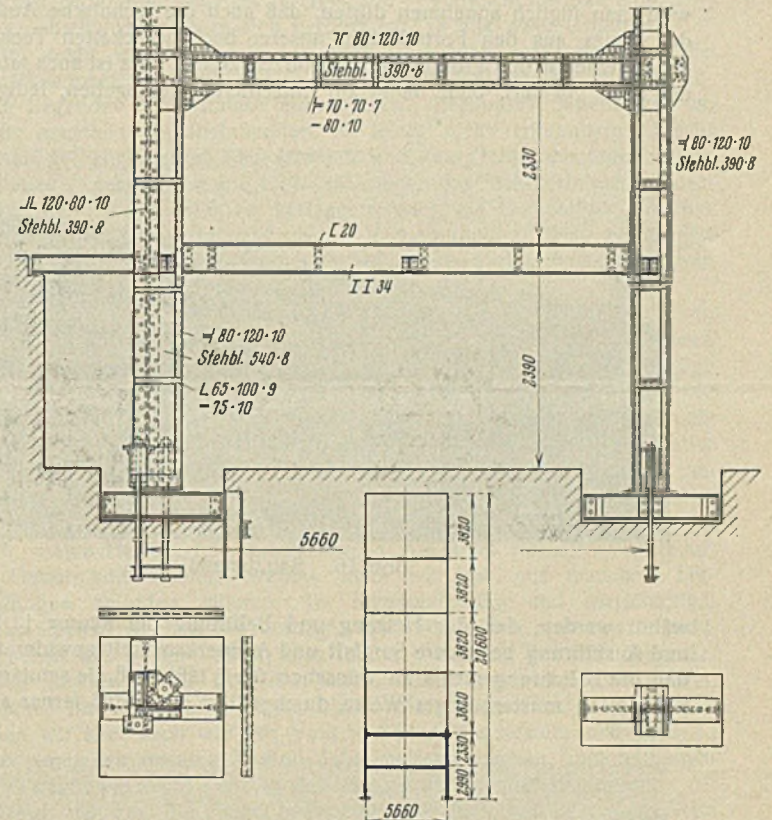
Bild 10. Dachausbildung.

keit der Anordnung von Dehnungsfugen begründet. Beim Bau der Reichszeugmeisterei ist diese Frage sehr eingehend behandelt und, wie Bild 14 zeigt, in einer konstruktiv glücklichen Weise gelöst worden.



Normaler Windrahmen.

Bild 11.



Windrahmen in den Gebäudeecken.

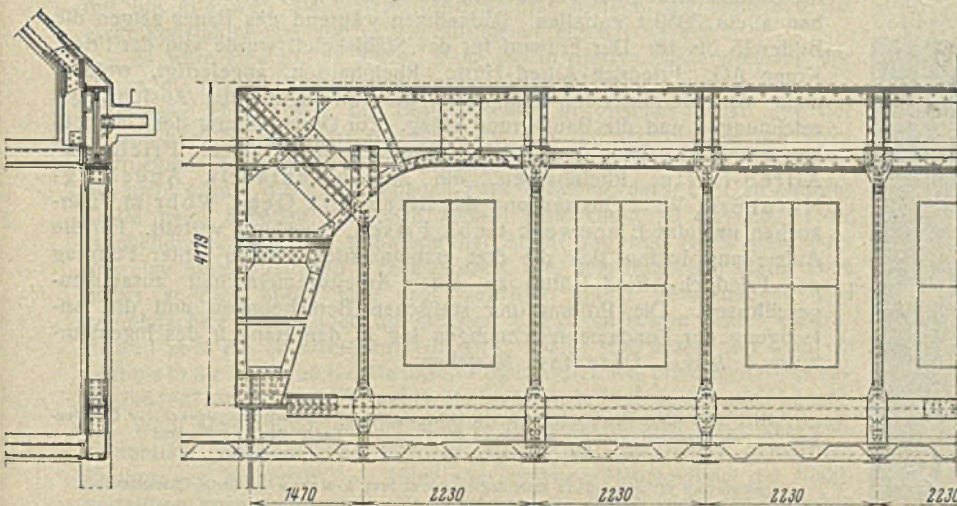


Bild 12. Rahmen über dem vorhandenen Gebäude.

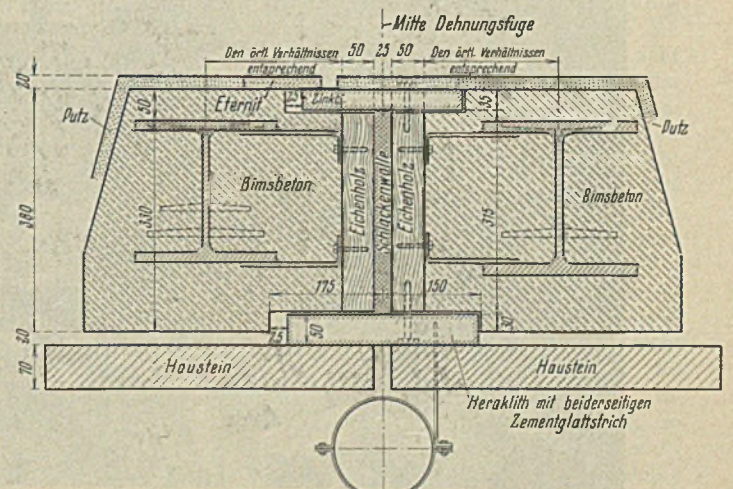


Bild 14. Ausbildung der Dehnungsfuge.



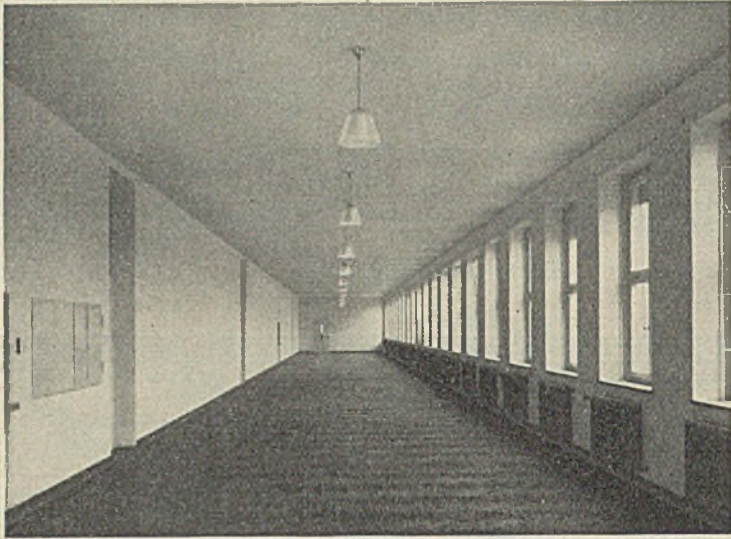


Bild 13. Innenansicht.

Bei einem weithin sichtbaren Bauwerk von der Bedeutung der Reichszeugmeisterei, welches bautechnisch auf der Höhe der Entwicklung steht, wird man füglich annehmen dürfen, daß auch die technische Ausrüstung des Baues aus den Fortschritten unserer hochentwickelten Technik auf allen Gebieten den größtmöglichen Nutzen zieht. Dies ist auch tatsächlich der Fall. So darf, ohne näher auf Einzelheiten einzugehen, lediglich er-

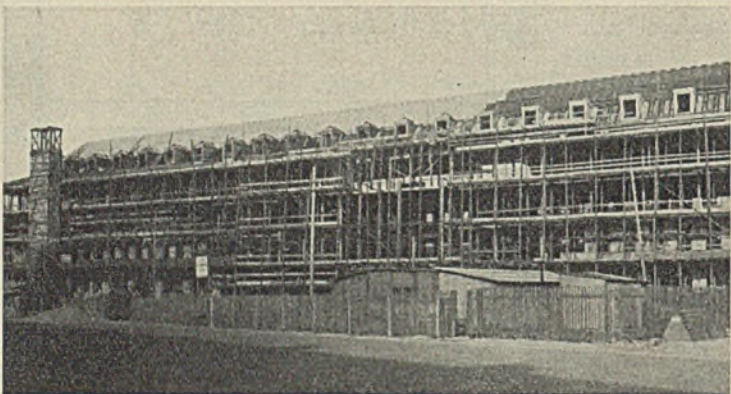


Bild 16. Bauzustand.

wähnt werden, daß der Heizung und Belüftung der Räume in Entwurf und Ausführung besondere Sorgfalt und Aufmerksamkeit gewidmet wurde, daß die Belichtung nichts zu wünschen übrig läßt, daß die sanitären Maßnahmen in mustergültiger Weise durchgeführt sind, daß ferner auch der

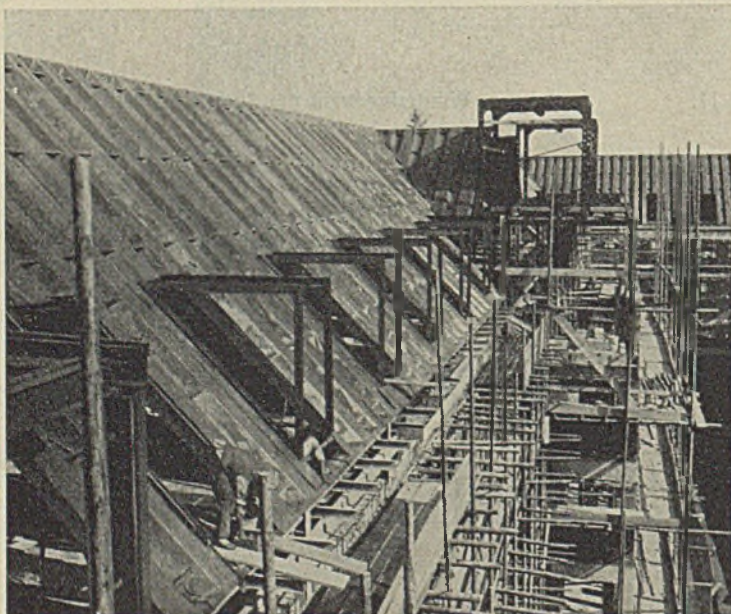


Bild 17. Stahldach aus Doppelwinkeln.

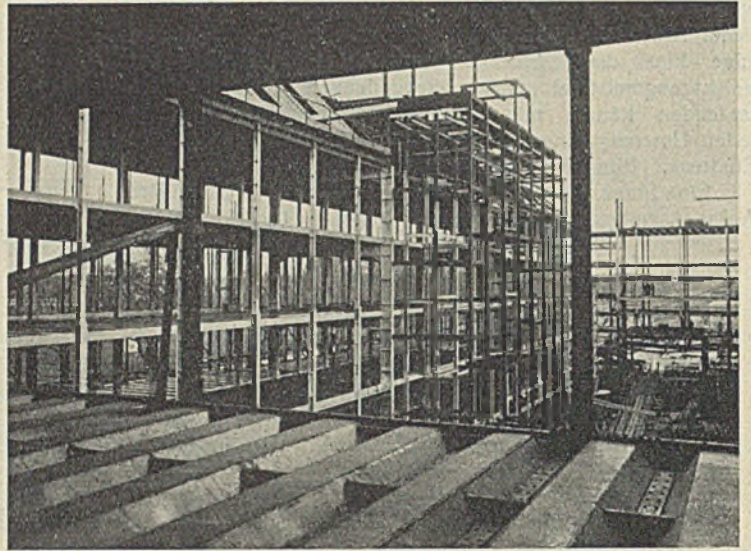


Bild 15. Stahldecke aus Doppelwinkeln.

Brandgefahr in denkbar bester und umfassender Weise durch die Einrichtung einer Sprinkler-Anlage in allen Geschossen begegnet ist. Selbstredend ist auch der Beförderung von Personen und Gütern durch mehrere Personen- und Lastenfahrstühle Rechnung getragen, wie überhaupt das

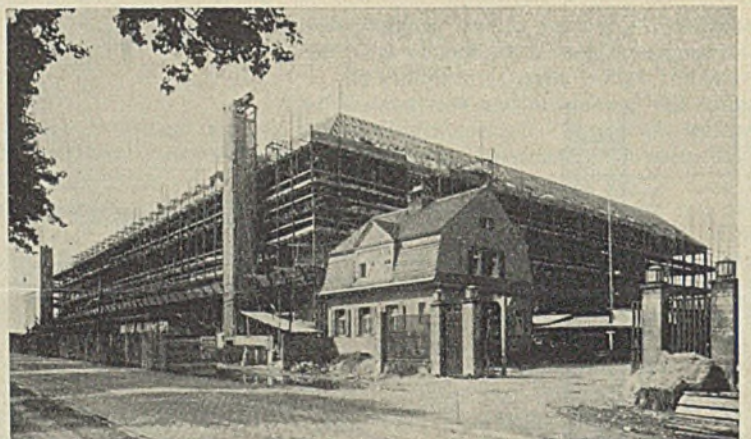


Bild 18. Stahlskelett nach beendeter Aufstellung.

ganze Bauwerk bei dem Besucher den nachhaltigen Eindruck hinterläßt, daß hier der nationalsozialistischen Forderung auf „Schönheit der Arbeit“ von Seiten der Partei selbst der höchste Tribut gezollt wurde.

Die Ausführung der eingangs beschriebenen Gesamtanlage erfolgt nach dem Entwurf und unter Oberleitung der Architekten Paul Hofer und Joh. Karl Fischer in München, die Bauoberleitung liegt in den Händen des Bauleiters der Führerbauten, Herrn Architekt Jos. Heldmann, München.

Das Gesamtgewicht der Stahlkonstruktion für den Geschosbau und die Unterkellerung der Verladehöfe betrug 4730 t, wovon auf den Geschosbau allein 3950 t entfallen. Aufnahmen während des Baues zeigen die Bilder 15 bis 18. Der Entwurf für das Stahlskelett wurde von der Fried. Krupp AG., Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen, angefertigt, welcher dann als federführender Firma auch die Anfertigung der Ausführungszeichnungen und die Bauführung oblag. Zur Durchführung des Geschosbaues wurden seitens der Bauleitung die Lieferungen auf die Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen, die Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg, Werk Gustavsburg, das Eisenwerk Gebr. Wöhr in Unterkochen und das Eisenwerk Gebr. Frisch, Augsburg, verteilt. Für die Aufstellung hatten sich die drei erstgenannten Firmen unter Führung der Friedrich-Alfred-Hütte zu einer Arbeitsgemeinschaft zusammengeschlossen. Die Prüfung der statischen Berechnungen und die Anfertigung der Fundamentzeichnungen lag in den Händen des Ingenieurbüros L. & H. L. Ostertag, München.

INHALT: Über die Stabilität des Kreisbogenträgers mit Zwischengelenken. — Der Neubau der Reichszeugmeisterei der NSDAP an der Tegernseer Landstraße in München.

Verantwortlich für den Inhalt: Geh. Regierungsrat Prof. A. Hertwig, Berlin-Charlottenburg.  
Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin W 9.  
Druck der Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.