

DER STAHLBAU

Schriftleitung:

Dr.-Ing. A. Hertwig, Geh. Regierungsrat, Professor an der Technischen Hochschule Berlin, Berlin-Charlottenburg 2, Technische Hochschule
Fernsprecher: C1 Steinplatz 0011
Professor W. Rein, Breslau, Technische Hochschule. — Fernsprecher: Breslau 421 61

Beilage
zur Zeitschrift

DIE BAUTECHNIK

Fachschrift für das ge-
samte Bauingenieurwesen

Preis des Jahrganges 10 RM und Postgeld

5. Jahrgang

BERLIN, 18. März 1932

Heft 6

Geheimrat A. Hertwig 60 Jahre alt.

Am 20. d. Mts. vollendet Herr Geh. Regierungsrat, Professor Dr.-Ing. chr. A. Hertwig, in voller Schaffenskraft das 60. Lebensjahr. Bereits im Alter von 30 Jahren begann er seine akademische Laufbahn als ord. Professor an der Technischen Hochschule Aachen und wurde als einer der hervorragendsten Schüler Müller-Breslaus im Jahre 1924 an die Technische Hochschule Berlin als dessen würdiger Nachfolger berufen. Seine nunmehr 30 jährige Tätigkeit als Lehrer und Forscher ist gekennzeichnet durch eine große Zahl wichtiger Abhandlungen aus seinem Lehrgebiet. Mit vorbildlicher Hingabe und Treue pflegt er auch in Wort und Schrift das Andenken an unsere Altmeister Schwedler und Müller-Breslau und widmet der Erziehung und Stellung des Ingenieurs im öffentlichen Leben besondere Aufmerksamkeit. Als Leiter der Versuchsanstalt für Statik der Baukonstruktionen sehen wir ihn auf dem Gebiete der experimentellen Forschung Bedeutsames leisten und mit seinen neuesten Arbeiten über dynamische Bodenuntersuchungen ein besonders wichtiges Problem verfolgen. Seit 1926 Mitglied der Akademie des Bauwesens und seit 1927 Mitglied des Ausschusses für Versuche im Stahlbau nimmt er auch an den Arbeiten dieser Körperschaften hervorragenden und regen Anteil. Seinem stillen und unermüdlchen Wirken ist nicht zum kleinsten Teil auch der Zusammenschluß der Fachvereine zu der Deutschen Gesellschaft für Bauwesen zu danken. Seine besondere Sorge gilt ferner dem Fachzeitschriftentum. Er ist Mitherausgeber verschiedener Organe und hat sich insbesondere um die Entwicklung des „Stahlbau“ große Verdienste erworben. Ausgestattet mit hervorragenden Geistesgaben, erfreut er sich in Fachkreisen besonders durch seine zum Zuge der heutigen Zeit in wohlthuendem Gegensatz stehende Bescheidenheit ungewöhnlicher Wertschätzung. Daß sich der Sechzigjährige noch recht lange körperlicher und geistiger Rüstigkeit erfreuen darf und die kommenden Jahre für ihn weiterhin reich an wissenschaftlichen Erfolgen und an Anerkennung sein mögen, ist der von Herzen kommende Wunsch seiner zahlreichen Freunde, Schüler und Verehrer.

Prof. Rein.

Berechnung eines tangential und elastisch gestützten geschlossenen Stabringes.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Paul Michnik, Berlin.

1. Allgemeines.

Die Berechnung von Gasbehälterführungsgerüsten, Kühltürmen und ähnlichen Bauwerken, die aus polygonal angeordneten Wänden und einem oberen biegungsfesten Aussteifungsring bestehen, läßt sich auf die Berechnung eines tangential und elastisch gestützten Stabringes zurückführen. Ist die Anzahl der Seiten n , so ist das System n -fach statisch unbestimmt.

Um die Weitläufigkeit der genauen Berechnung solcher Systeme zu vermeiden, wurde bisher zur Vereinfachung der Rechnung vielfach angenommen, daß die Steifigkeit des Aussteifungsringes im Verhältnis zur Nachgiebigkeit der Seitenwände so groß ist, daß er bei der Belastung seine Form nicht ändert ($J = \infty$) und nach den von Müller-Breslau in der Zeitschrift für Bauwesen, Jahrg. 1892, abgeleiteten Formeln gerechnet¹⁾ (vgl. auch Hütte, Bd. III, 25. Aufl., S. 85). Auch von Andréé²⁾ wird bei der Berechnung der Kühltürme diese vereinfachende Annahme gemacht.

Da diese angenäherte Berechnung zu Ergebnissen führen kann, die von den Resultaten der genauen Rechnung bedeutend abweichen, werden nachfolgend für die statischen Größen allgemeine Formeln abgeleitet, die die tatsächlichen Steifigkeitsverhältnisse des Systems berücksichtigen. Die Ableitung erfolgt getrennt für eine radial und tangential zum Stabring wirkende Kraft. Da jede Kraft in diese beiden Richtungen zerlegt werden kann, lassen sich aus den angegebenen Formeln durch Überlagerung die statischen Größen für beliebige in den Ringeckpunkten wirkende Belastungen ermitteln.

Die Aufgabe ist ähnlich dem von Bleich-Melan³⁾ und K. Pohl⁴⁾ behandelten Problem eines radial gestützten Stabringes. Im vorliegenden Aufsatz werden die erforderlichen Bestimmungsgleichungen auf eine einfache Weise aus der Formänderungsarbeit des Systems abgeleitet.

¹⁾ Als Ergänzung dieser Formeln hat der Verfasser im Bauing. 1931, Heft 44, allgemeine Formeln für die inneren Kräfte des Ringes abgeleitet.

²⁾ W. L. Andréé, Die Statik des Eisenbaues. München, Oldenbourg.

³⁾ Bleich-Melan, Die gewöhnlichen und partiellen Differenzengleichungen der Baustatik. Berlin, Springer.

⁴⁾ K. Pohl, Berechnung des biegungsfesten Kreisringes mit radialer stetiger elastischer Stützung. Stahlbau 1931, Heft 5.

2. Ableitung der Formeln für eine radiale Lastrichtung.

a) Aufstellung der Gleichungen.

In Abb. 1 ist das zu untersuchende System dargestellt, aus der auch die eingeführten Bezeichnungen hervorgehen. Die Belastung erfolge durch die Last P in 0. Die Stabkraft des Stützstabes (x) — ($x + 1$) oder die von der Seitenwand (x) — ($x + 1$) aufzunehmende Kraft sei Z_x . Das Trägheitsmoment des Ringes betrage J .

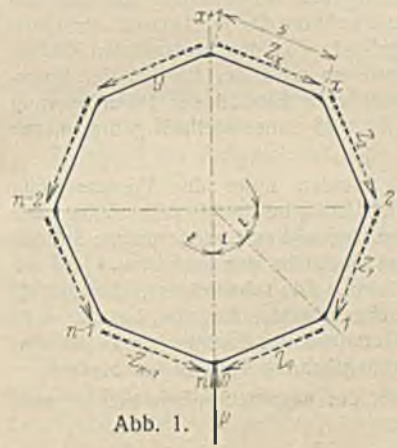


Abb. 1.

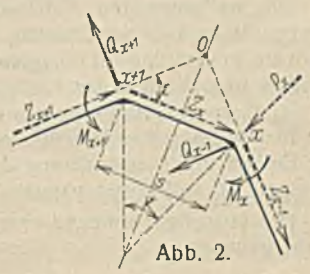


Abb. 2.

In Abb. 2 ist ein Teil des Ringes mit den angreifenden äußeren und inneren Kräften dargestellt. In bezug auf den Punkt „0“ gilt die Momentengleichung (bei $P_x = 0$):

$$M_{x+1} - Q_{x+1} \frac{s}{2 \cos \epsilon} - M_x - Q_x \frac{s}{2 \cos \epsilon} + Z_x \frac{s}{2} \operatorname{tg} \epsilon = 0.$$

Mit

$$Q_{x+1} = \frac{1}{s} (M_{x+2} - M_{x+1}) \quad \text{und} \quad Q_{x-1} = \frac{1}{s} (M_x - M_{x-1})$$

geht dieselbe über in

$$(1) \quad M_{x-1} - M_x (1 + 2 \cos \epsilon) + M_{x+1} (1 + 2 \cos \epsilon) - M_{x+2} = -Z_x s \sin \epsilon.$$

Wirkt im Punkte „x“ die Kraft P_x , dann lautet die der Gl. 1 entsprechende Gleichung

$$(1a) \quad M_{x-1} - M_x(1 + 2 \cos \epsilon) + M_{x+1}(1 + 2 \cos \epsilon) - M_{x+2} \\ = -Z_x s \sin \epsilon + P_x s \cos \frac{\epsilon}{2}.$$

Wir setzen mit Rücksicht auf die spätere Auflösung der Gleichungen

$$(2) \quad M_{x-1} - 2 M_x \cos \epsilon + M_{x+1} = 3_x s \sin \epsilon$$

und erhalten aus Gl. 1

$$(1b) \quad Z_x = 3_{x+1} - 3_x.$$

Die Gl. 2 stellt bereits die eine Gleichung der simultanen Differenzengleichungen dar.

Die zweite Gleichung gewinnen wir aus der Formänderungsarbeit des Systems. Dieselbe setzt sich zusammen aus der Formänderungsarbeit des biegefesten Stabringes und aus der Formänderungsarbeit der Stützstäbe bzw. der Seitenwände des Bauwerkes.

Greifen die Lasten in den Eckpunkten des Stabringes an, dann besteht die Momentenfläche desselben aus einzelnen Trapezflächen. Mit dem Trägheitsmoment J und der Stablänge s beträgt bei trapezförmiger Momentenfläche die virtuelle Formänderungsarbeit eines Ringstabes (vgl. Abb. 3)

$$A_R = \frac{1}{3EJ} (M_x^2 + M_x M_{x+1} + M_{x+1}^2) s.$$

Bezeichnet man die Längenänderung eines Stützstabes infolge $Z_x = 1$ t mit x , so beträgt die virtuelle Formänderungsarbeit desselben

$$A_s = x Z_x^2.$$

Wird der Stabring nicht durch einzelne Stäbe, sondern durch Fachwerkkräfte gestützt, und bezeichnet man mit x die horizontale

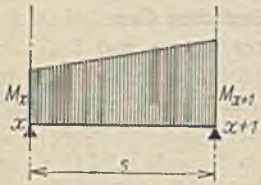


Abb. 3.

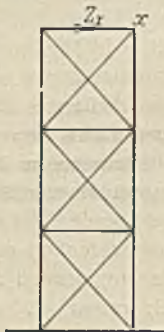


Abb. 4.



Abb. 5.

Verschiebung des oberen Punktes x (Abb. 4) infolge der Kraft $Z_x = 1$ t und nur infolge der Längenänderung der Füllungsstäbe, so gilt der gleiche Ausdruck für die virtuelle Formänderungsarbeit, wie bei einfachen Stützstäben.

Soll auch der Einfluß der Formänderung der Gurtstäbe berücksichtigt werden, so ist dabei zu beachten, daß deren Größe von der Differenz der benachbarten Wandkräfte abhängig ist (vgl. Abb. 5). Durch diesen Umstand wird die Lösung der Aufgabe etwas verwickelter. Da aber die horizontale Verschiebung von x eine Funktion der Differenz der Gurtkräfte ist und die Beanspruchung der Stiele von den horizontalen Kräften allein verhältnismäßig klein sein wird, so wird der Einfluß der Formänderung der Gurtstäbe im Verhältnis zum Einfluß der Formänderung der Füllungsstäbe nicht groß sein. Es wird daher vielfach genügen, nur den letzteren zu berücksichtigen.

Die nachfolgenden Ableitungen werden unter der Voraussetzung durchgeführt, daß der Stabring durch einfache horizontale Stäbe oder vertikale, in Richtung der Polygonseiten biegeunflexible, eingespannte Stützen gestützt ist bzw. daß der Einfluß der Gurtstäbe des Fachwerkes auf die Formänderung vernachlässigt werden kann. Die schwierigere, aber mittels des hier angewandten Verfahrens durchaus lösbare Aufgabe, bei der auch der Einfluß der Formänderung der Gurtstäbe des Fachwerkes zu berücksichtigen ist, soll einer späteren Veröffentlichung vorbehalten bleiben.

Die virtuelle Formänderungsarbeit des ganzen Systems beträgt nach Vorhergehendem

$$A = \sum (A_R + A_s) = \frac{s}{3EJ} \left(2 \sum_0^n M_x^2 + \sum_0^n M_x M_{x+1} \right) + x \sum_0^n Z_x^2.$$

Mit $\frac{6EJx}{s} = c$ erhalten wir

$$\frac{3EJ}{s} A = 2 \sum_0^n M_x^2 + \sum_0^n M_x M_{x+1} + \frac{c}{2} \sum_0^n Z_x^2.$$

Bei Berücksichtigung der Gl. 1 ergibt die partielle Differentiation nach M_x

$$\frac{\partial}{\partial M_x} \frac{3EJ}{s} A = M_{x-1} + 4M_x + M_{x+1} \\ - \frac{c}{s \sin \epsilon} [Z_{x+1} - (1 + 2 \cos \epsilon) Z_x + (1 + 2 \cos \epsilon) Z_{x-1} - Z_{x-2}] = 0.$$

5) Diese mit EJ multiplizierte Formel wird in P. Funk, Die linearen Differenzgleichungen und ihre Anwendung in der Theorie der Baukonstruktionen, als Kegelstumpfformel bezeichnet.

Mit $Z_x = 3_{x+1} - 3_x$ ergibt sich aus der letzten Gleichung

$$(3) \quad M_{x-1} + 4M_x + M_{x+1} - \frac{c}{s \sin \epsilon} [3_{x-2} - 2(1 + \cos \epsilon) 3_{x-1} \\ + 2(1 + 2 \cos \epsilon) 3_x - 2(1 + \cos \epsilon) 3_{x+1} + 3_{x+2}].$$

Die Gl. 2 u. 3 stellen ein System simultaner Differenzgleichungen dar. Würde man aus Gl. 2 3_x in die Gl. 3 einsetzen, so erhielte man eine Differenzgleichung sechster Ordnung mit der Unbekannten M_x . Es muß daher die allgemeine Lösung der Gl. 2 u. 3 sechs Konstante enthalten.

b) Auflösung der Differenzgleichungen.

Für die Unbekannten werden die folgenden Ansätze gemacht:

$$M_x = C \beta^x, \quad 3_x = C \alpha \beta^x.$$

Setzt man diese Werte in die Gl. 2 u. 3 ein, so ergeben sich mit $s \sin \epsilon = \mu$ nach Kürzung die charakteristischen Gleichungen zu

$$(4) \quad \beta^3 - 2 \cos \epsilon + \frac{1}{\beta} = \mu \alpha,$$

$$(5) \quad \beta^3 + 4 \beta^2 + \beta - \frac{c \alpha}{\mu} [\beta^3 - 2(1 + \cos \epsilon) \beta^3 + 2(1 + 2 \cos \epsilon) \beta^2 \\ - 2(1 + \cos \epsilon) \beta + 1] = 0.$$

Die Gl. 5 läßt sich auf einfache Weise auf die Form bringen:

$$(5a) \quad \beta^3 + 4 + \frac{1}{\beta} - \frac{c \alpha}{\mu} \left(\beta - 2 \cos \epsilon + \frac{1}{\beta} \right) \left(\beta - 2 + \frac{1}{\beta} \right) = 0.$$

Aus Gl. 4 folgt $\beta + \frac{1}{\beta} = \mu \alpha + 2 \cos \epsilon$. Durch Einsetzen dieses Wertes in Gl. 5a erhält man

$$\mu \alpha + 2 \cos \epsilon + 4 - \frac{c \alpha}{\mu} (\mu \alpha + 2 \cos \epsilon - 2 \cos \epsilon) (\mu \alpha + 2 \cos \epsilon - 2) = 0, \text{ oder}$$

$$(6) \quad \alpha^3 - \frac{2 \alpha^2}{\mu} (1 - \cos \epsilon) - \frac{\alpha}{c} - \frac{2(2 + \cos \epsilon)}{c \mu} = 0.$$

Die Gl. 6 enthält nur α als Unbekannte und ist vom dritten Grade.

Setzt man

$$p = - \left[\frac{4}{3 \mu^2} (1 - \cos \epsilon)^2 + \frac{1}{c} \right],$$

$$q = - \left[\frac{16}{27 \mu^3} (1 - \cos \epsilon)^3 + \frac{2(7 + 2 \cos \epsilon)}{3 \mu c} \right],$$

$$\mathfrak{A} = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}} \quad \text{und}$$

$$\mathfrak{B} = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3}},$$

so lauten die Ausdrücke für die drei Wurzeln der Gl. 6

$$(7a) \quad \alpha_1 = \mathfrak{A} + \mathfrak{B} + \frac{2(1 - \cos \epsilon)}{3 \mu},$$

$$(7b) \quad \alpha_2 = -\frac{\mathfrak{A} + \mathfrak{B}}{2} + \frac{2(1 - \cos \epsilon)}{3 \mu} + \frac{\mathfrak{A} - \mathfrak{B}}{2} i \sqrt{3},$$

$$(7c) \quad \alpha_3 = -\frac{\mathfrak{A} + \mathfrak{B}}{2} + \frac{2(1 - \cos \epsilon)}{3 \mu} - \frac{\mathfrak{A} - \mathfrak{B}}{2} i \sqrt{3},$$

vorausgesetzt, daß die Diskriminante $R = \left(\frac{q}{2}\right)^2 + \left(\frac{p}{3}\right)^3$ der kubischen Gleichung 6 positiv ist.

In diesem Falle ist eine Wurzel reell und die beiden anderen konjugiert komplex.

Bei $R = 0$ sind alle drei Wurzeln reell und darunter zwei gleiche.

Ist die Diskriminante R negativ, so sind alle Wurzeln reell und unter-

einander verschieden. In diesem Falle hat man aus $\cos \gamma = -\frac{q/2}{\sqrt{-(p/3)^3}}$

den Winkel γ zu ermitteln und erhält für die Wurzeln die nachfolgenden Ausdrücke:

$$(8a) \quad \alpha_1 = 2 \sqrt{-\frac{p}{3}} \cos \frac{\gamma}{3} + \frac{2(1 - \cos \epsilon)}{3 \mu},$$

$$(8b) \quad \alpha_2 = 2 \sqrt{-\frac{p}{3}} \cos \left(\frac{\gamma}{3} + 120^\circ \right) + \frac{2(1 - \cos \epsilon)}{3 \mu},$$

$$(8c) \quad \alpha_3 = 2 \sqrt{-\frac{p}{3}} \cos \left(\frac{\gamma}{3} + 240^\circ \right) + \frac{2(1 - \cos \epsilon)}{3 \mu}.$$

Sind $\alpha_{1, 2, 3}$ ermittelt, dann erhält man aus Gl. 4

$$(9a) \quad \beta_{1, 2} = \cos \epsilon + \frac{\mu \alpha_1}{2} \pm \sqrt{\left(\cos \epsilon + \frac{\mu \alpha_1}{2} \right)^2 - 1},$$

$$(9b) \quad \beta_{3, 4} = \cos \epsilon + \frac{\mu \alpha_2}{2} \pm \sqrt{\left(\cos \epsilon + \frac{\mu \alpha_2}{2} \right)^2 - 1},$$

$$(9c) \quad \beta_{5, 6} = \cos \epsilon + \frac{\mu \alpha_3}{2} \pm \sqrt{\left(\cos \epsilon + \frac{\mu \alpha_3}{2} \right)^2 - 1}.$$

Dabei ist $\beta_1 \beta_2 = 1, \beta_3 \beta_4 = 1$ und $\beta_5 \beta_6 = 1$.

Wann die Wurzeln α und β reell oder komplex sind, hängt von den Größen ϵ, c und μ ab; es läßt sich hierfür keine einfache Bedingung aufstellen. Bei praktischer Durchführung der Rechnung wird man die Diskriminante R der kubischen Gl. 6 zahlenmäßig bestimmen und nach dem Vorzeichen derselben den weiteren Rechnungsgang einrichten.

c) Bestimmung der Konstanten.

Die allgemeinen Lösungen der Gleichungen 2 u. 3 lauten:

$$(10) M_x = C_1 \beta_1^x + C_2 \beta_2^x + C_3 \beta_3^x + C_4 \beta_4^x + C_5 \beta_5^x + C_6 \beta_6^x,$$

$$(11) Z_x = \alpha_1 (C_1 \beta_1^x + C_2 \beta_2^x) + \alpha_2 (C_3 \beta_3^x + C_4 \beta_4^x) + \alpha_3 (C_5 \beta_5^x + C_6 \beta_6^x).$$

Sie enthalten sechs Konstanten, deren Bestimmung mit Rücksicht auf die Symmetrie des Systems noch verhältnismäßig einfach ist. Aus Symmetriegründen gilt nämlich $M_x = M_{n-x}$ (s. Abb. 1) oder

$$C_1 \beta_1^x + C_2 \beta_2^x + C_3 \beta_3^x + C_4 \beta_4^x + C_5 \beta_5^x + C_6 \beta_6^x = C_1 \beta_1^{n-x} + C_2 \beta_2^{n-x} + C_3 \beta_3^{n-x} + C_4 \beta_4^{n-x} + C_5 \beta_5^{n-x} + C_6 \beta_6^{n-x}.$$

Nach einer einfachen Umformung erhält man

$$(\beta_1^{n-x} - \beta_1^x)(C_1 - C_2 \beta_2^n) + (\beta_3^{n-x} - \beta_3^x)(C_3 - C_4 \beta_4^n) + (\beta_5^{n-x} - \beta_5^x)(C_5 - C_6 \beta_6^n) = 0.$$

Diese Gleichung kann nur dann für sämtliche x von 0 bis n identisch erfüllt sein, wenn die konstanten Faktoren gleich Null sind. Daraus folgt

$$(12) C_1 = C_2 \beta_2^n, C_3 = C_4 \beta_4^n \text{ und } C_5 = C_6 \beta_6^n,$$

und umgekehrt

$$(12a) C_2 = C_1 \beta_1^n, C_4 = C_3 \beta_3^n \text{ und } C_6 = C_5 \beta_5^n.$$

Dadurch haben wir bereits drei einfache Beziehungen gewonnen und benötigen nur noch drei Randbedingungen zur Bestimmung der Konstanten. (In den Gl. 12 bzw. 12a sind die Randbedingungen $M_0 = M_n$ und $Z_0 = -Z_{n-1}$ bereits enthalten.)

Als solche benutzen wir $Z_0 = Z_n$ oder nach Gl. 1b: $Z_1 - Z_0 = Z_{n+1} - Z_n$. Setzt man in diese Gleichung den Ausdruck für Z aus Gl. 11 ein und zieht die mit der gleichen Konstanten multiplizierten Glieder zusammen, so erhält man

$$C_1 \alpha_1 (\beta_1^{n+1} - \beta_1^n - \beta_1 + 1) + C_2 \alpha_1 (\beta_2^{n+1} - \beta_2^n - \beta_2 + 1) + \dots = 0$$

$$\text{oder } C_1 \alpha_1 (\beta_1 - 1)(\beta_1^n - 1) + C_2 \alpha_1 (\beta_2 - 1)(\beta_2^n - 1) + \dots = 0.$$

Beachtet man, daß $\beta_2 = \frac{1}{\beta_1}, \beta_4 = \frac{1}{\beta_3}$ usw. ist, so folgt als vierte Bestimmungsgleichung

$$(13) (C_1 + C_2 \beta_2^{n+1}) \alpha_1 (\beta_1 - 1)(\beta_1^n - 1) + (C_3 + C_4 \beta_4^{n+1}) \alpha_2 (\beta_3 - 1)(\beta_3^n - 1) + (C_5 + C_6 \beta_6^{n+1}) \alpha_3 (\beta_5 - 1)(\beta_5^n - 1) = 0.$$

Eine weitere Randbedingung erhalten wir aus der Gl. 1a für $x = n$:

$$M_{n-1} - M_n (1 + 2 \cos \epsilon) + M_{n+1} (1 + 2 \cos \epsilon) - M_{n+2} + Z_n s \sin \epsilon = P_0 s \cos \frac{\epsilon}{2}.$$

Da $M_n = M_0, M_{n+1} = M_1, M_{n+2} = M_2, Z_n = Z_0 = Z_1 - Z_0$ und $\mu = s \sin \epsilon$ ist, ergibt sich:

$$M_{n-1} - M_0 (1 + 2 \cos \epsilon) + M_1 (1 + 2 \cos \epsilon) - M_2 + Z_1 \mu - Z_0 \mu = P s \cos \frac{\epsilon}{2}.$$

Subtrahiert man von dieser Gleichung

$$M_{-1} - M_0 (1 + 2 \cos \epsilon) + M_1 (1 + 2 \cos \epsilon) - M_2 + Z_1 \mu - Z_0 \mu = 0,$$

so bleibt

$$M_{n-1} - M_{-1} = P s \cos \frac{\epsilon}{2}.$$

Nach Einsetzen der Werte für M und Zusammenziehen der Glieder geht vorstehende Gleichung über in

$$C_1 (\beta_1^{n-1} - \beta_1^{-1}) + C_2 (\beta_2^{n-1} - \beta_2^{-1}) + \dots = P s \cos \frac{\epsilon}{2}.$$

Durch Umformung dieser Gleichung erhalten wir die fünfte Bestimmungsgleichung für die Konstanten C :

$$(14) C_1 \beta_2 (\beta_1^n - 1) - C_2 \beta_2^{n-1} (\beta_1^n - 1) + \dots = P s \cos \frac{\epsilon}{2}.$$

Die letzte Gleichung leiten wir aus der aus der Geschlossenheit des Stabringes nach der Deformation leicht abzuleitenden Bedingung

$$\sum_0^n M_x = 0 \text{ oder } C_1 \sum_0^n \beta_1^x + C_2 \sum_0^n \beta_2^x + \dots = 0 \text{ ab.}$$

Mit $\sum_0^n \beta^x = \frac{\beta^{n+1} - 1}{\beta - 1}$ folgt

$$(15) C_1 \frac{\beta_1^{n+1} - 1}{\beta_1 - 1} + C_2 \frac{\beta_2^{n+1} - 1}{\beta_2 - 1} + \dots = 0.$$

Bei Berücksichtigung der Gleichungen 12a gehen die Gl. 13, 14 u. 15 über in

$$(13a) C_1 \alpha_1 (\beta_1 - \beta_2)(\beta_1^n - 1) + C_3 \alpha_2 (\beta_3 - \beta_4)(\beta_3^n - 1) + C_5 \alpha_3 (\beta_5 - \beta_6)(\beta_5^n - 1) = 0,$$

$$(14a) -C_1 (\beta_1 - \beta_2)(\beta_1^n - 1) - C_3 (\beta_3 - \beta_4)(\beta_3^n - 1) - C_5 (\beta_5 - \beta_6)(\beta_5^n - 1) = P s \cos \frac{\epsilon}{2},$$

$$(15a) \frac{C_1 (\beta_1^{n+1} - 1)(\beta_1 - \beta_2)}{\beta_1 + \beta_2 - 2} + \frac{C_3 (\beta_3^{n+1} - 1)(\beta_3 - \beta_4)}{\beta_3 + \beta_4 - 2} + \frac{C_5 (\beta_5^{n+1} - 1)(\beta_5 - \beta_6)}{\beta_5 + \beta_6 - 2} = 0.$$

Die Auflösung der Gl. 13a, 14a u. 15a ergibt

$$(16a) C_1 = \frac{P}{2 \sin \frac{\epsilon}{2}} \cdot \frac{\alpha_1 (\beta_1 - 1)}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_1 - \alpha_3)(\beta_1^n - 1)(\beta_1 + 1)},$$

$$(16b) C_3 = \frac{P}{2 \sin \frac{\epsilon}{2}} \cdot \frac{\alpha_2 (\beta_3 - 1)}{(\alpha_2 - \alpha_1)(\alpha_2 - \alpha_3)(\beta_3^n - 1)(\beta_3 + 1)},$$

$$(16c) C_5 = \frac{P}{2 \sin \frac{\epsilon}{2}} \cdot \frac{\alpha_3 (\beta_5 - 1)}{(\alpha_3 - \alpha_1)(\alpha_3 - \alpha_2)(\beta_5^n - 1)(\beta_5 + 1)}.$$

Die übrigen drei Konstanten sind durch die Gl. 12a bestimmt.

Wir setzen die Ausdrücke für C_1 bis C_6 in die Gl. 10 ein und erhalten

$$(17) M_x = \frac{P}{2 \sin \frac{\epsilon}{2}} \left\{ \frac{\alpha_1 (\beta_1 - 1)(\beta_1^x + \beta_1^{n-x})}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_1 - \alpha_3)(\beta_1 + 1)(\beta_1^n - 1)} + \frac{\alpha_2 (\beta_3 - 1)(\beta_3^x + \beta_3^{n-x})}{(\alpha_2 - \alpha_1)(\alpha_2 - \alpha_3)(\beta_3 + 1)(\beta_3^n - 1)} + \frac{\alpha_3 (\beta_5 - 1)(\beta_5^x + \beta_5^{n-x})}{(\alpha_3 - \alpha_1)(\alpha_3 - \alpha_2)(\beta_5 + 1)(\beta_5^n - 1)} \right\}.$$

Für die Stützkräfte findet man nach Gl. 1b u. 11

$$Z_x = Z_{x+1} - Z_x = \alpha_1 (C_1 \beta_1^{x+1} - C_1 \beta_1^x + C_2 \beta_2^{x+1} - C_2 \beta_2^x) + \dots = C_1 \alpha_1 (\beta_1 - 1)(\beta_1^x - \beta_1^{n-x-1}) + \dots$$

und mit den Ausdrücken für $C_1 \dots C_6$:

$$(18) Z_x = \frac{P}{2 \sin \frac{\epsilon}{2}} \left\{ \frac{\alpha_1^2 (\beta_1 - 1)^2 (\beta_1^x - \beta_1^{n-x-1})}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_1 - \alpha_3)(\beta_1 + 1)(\beta_1^n - 1)} + \frac{\alpha_2^2 (\beta_3 - 1)^2 (\beta_3^x - \beta_3^{n-x-1})}{(\alpha_2 - \alpha_1)(\alpha_2 - \alpha_3)(\beta_3 + 1)(\beta_3^n - 1)} + \frac{\alpha_3^2 (\beta_5 - 1)^2 (\beta_5^x - \beta_5^{n-x-1})}{(\alpha_3 - \alpha_1)(\alpha_3 - \alpha_2)(\beta_5 + 1)(\beta_5^n - 1)} \right\}.$$

Die Stützkräfte Z_x lassen sich nach Bestimmung von M_x auch leicht aus der Gl. 1 berechnen.

Damit ist die Aufgabe für reelle Wurzeln α und β gelöst.

d) Umformung der Gl. 17 u. 18 bei komplexen Wurzeln α und β .

Ist die Diskriminante der Gl. 6 $R > 0$, so ist α_1 reell und α_2 und α_3 sind konjugiert komplex. Aus Gl. 4 folgt ohne weiteres, daß dann β_1, β_2 reell und $\beta_3, \beta_4, \beta_5$ und β_6 komplex sein müssen. Setzt man $\alpha_2 = a + ib$, so ist $\alpha_3 = a - ib$ zu setzen.

Setzen wir ferner die konstanten Teile der drei Klammerausdrücke der Gl. 17 der Reihe nach gleich $K_1^{(mr)}, K_2^{(mr)}, K_3^{(mr)}$ und die variablen Teile gleich $F_1^{(mr)}(x), F_2^{(mr)}(x)$ und $F_3^{(mr)}(x)$, so erhalten wir

$$(17a) M_x = \frac{P}{2 \sin \frac{\epsilon}{2}} [K_1^{(mr)} F_1^{(mr)}(x) + K_2^{(mr)} F_2^{(mr)}(x) + K_3^{(mr)} F_3^{(mr)}(x)].$$

(Der Index (mr) besagt, daß es sich um das Moment bei radialer Kraft- richtung handelt.)

Führen wir in

$$K_1^{(mr)} = \frac{\alpha_1 (\beta_1 - 1)}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_1 - \alpha_3)(\beta_1 + 1)(\beta_1^n - 1)}$$

die Ausdrücke für α_2 und α_3 ein, so ergibt sich

$$K_1^{(mr)} = \frac{\alpha_1 (\beta_1 - 1)}{[(\alpha_1 - a)^2 + b^2](\beta_1 + 1)(\beta_1^n - 1)}$$

in reeller Form.

Der zweite Klammerausdruck der Gl. 17 lautet

$$K_2^{(mr)} F_2^{(mr)}(x) = \frac{\alpha_2 (\beta_3 - 1)(\beta_3^x + \beta_3^{n-x})}{(\alpha_2 - \alpha_3)(\alpha_2 - \alpha_1)(\beta_3 + 1)(\beta_3^n - 1)}$$

und nach Division des Zählers und Nenners mit $\beta_3^2 \beta_4^2$

$$K_2^{(mr)} F_2^{(mr)}(x) = \frac{\alpha_2 \left(\frac{1}{\beta_3^2} - \frac{1}{\beta_4^2} \right) \left(\frac{n}{\beta_3^2} - x + \frac{n}{\beta_4^2} - x \right)}{(\alpha_2 - \alpha_1)(\alpha_2 - \alpha_3) \left(\frac{1}{\beta_3^2} + \frac{1}{\beta_4^2} \right) \left(\beta_3^2 - \beta_4^2 \right)}$$

Wir erweitern den Bruch mit

$$(\alpha_3 - \alpha_1) \left(\frac{1}{\beta_5^2} + \frac{1}{\beta_6^2} \right) \left(\frac{n}{\beta_5^2} - \frac{n}{\beta_6^2} \right)$$

und erhalten

$$(19) \quad K_2^{(mr)} F_2^{(mr)}(x) = \frac{\alpha_2 (\alpha_3 - \alpha_1) \left(\frac{1}{\beta_3^2} - \frac{1}{\beta_4^2} \right) \left(\frac{1}{\beta_5^2} + \frac{1}{\beta_6^2} \right) \left(\frac{n}{\beta_3^2} - \frac{n}{\beta_4^2} \right) \left(\frac{n}{\beta_5^2} - \frac{n}{\beta_6^2} \right)}{(\alpha_2 - \alpha_1)(\alpha_2 - \alpha_3)(\alpha_3 - \alpha_1) \left(\frac{1}{\beta_3^2} + \frac{1}{\beta_4^2} \right) \left(\frac{1}{\beta_5^2} + \frac{1}{\beta_6^2} \right) \left(\beta_3^2 - \beta_4^2 \right) \left(\beta_5^2 - \beta_6^2 \right)}$$

Die komplexen Ausdrücke für β_3 bis β_6 lassen sich auf die Form bringen:

$$(20) \quad \beta_3 = r(\cos \varphi + i \sin \varphi), \quad \beta_4 = \frac{1}{r}(\cos \varphi - i \sin \varphi), \\ \beta_5 = r(\cos \varphi - i \sin \varphi), \quad \beta_6 = \frac{1}{r}(\cos \varphi + i \sin \varphi).$$

Setzt man $\ln r = \gamma$, so lassen sich die Gl. 20 in der nachstehenden Form schreiben:

$$\beta_3 = e^\gamma (\cos \varphi + i \sin \varphi), \quad \beta_4 = e^{-\gamma} (\cos \varphi - i \sin \varphi), \\ \beta_5 = e^{-\gamma} (\cos \varphi - i \sin \varphi), \quad \beta_6 = e^\gamma (\cos \varphi + i \sin \varphi).$$

Für die Summen und Differenzen erhalten wir

$$\beta_3 + \beta_4 = \cos \varphi (e^\gamma + e^{-\gamma}) + i \sin \varphi (e^\gamma - e^{-\gamma}) \\ = 2(\cos \varphi \cosh \gamma + i \sin \varphi \sinh \gamma), \\ \beta_3 - \beta_4 = 2(\cos \varphi \sinh \gamma + i \sin \varphi \cosh \gamma), \\ \beta_5 + \beta_6 = 2(\cos \varphi \cosh \gamma - i \sin \varphi \sinh \gamma), \\ \beta_5 - \beta_6 = 2(\cos \varphi \sinh \gamma - i \sin \varphi \cosh \gamma).$$

Setzt man diese Beziehungen sowie die Ausdrücke für α_2 und α_3 in den Nenner der Gl. 19 ein, so erhält man

$$(\alpha_2 - \alpha_1)(\alpha_2 - \alpha_3)(\alpha_3 - \alpha_1) \left(\frac{1}{\beta_3^2} + \frac{1}{\beta_4^2} \right) \left(\frac{1}{\beta_5^2} + \frac{1}{\beta_6^2} \right) \left(\beta_3^2 - \beta_4^2 \right) \left(\beta_5^2 - \beta_6^2 \right) \\ = 8 i b [(a - \alpha_1)^2 + b^2] (\cos \varphi + \cosh \gamma) (\cos n \varphi - \cosh n \gamma) = 16 N i,$$

wobei $N = \frac{b}{2} [(a - \alpha_1)^2 + b^2] (\cos \varphi + \cosh \gamma) (\cos n \varphi - \cosh n \gamma)$ ist.

Im Zähler erhalten wir

$$\alpha_2 (\alpha_3 - \alpha_1) = -i [b \alpha_1 + i \{a(a - \alpha_1) + b^2\}] = -i [A + i B],$$

wobei $A = b \alpha_1$ und $B = a(a - \alpha_1) + b^2$ ist.

Ferner ist

$$\left(\frac{1}{\beta_3^2} - \frac{1}{\beta_4^2} \right) \left(\frac{1}{\beta_5^2} + \frac{1}{\beta_6^2} \right) \left(\frac{n}{\beta_3^2} - \frac{n}{\beta_4^2} \right) \left(\frac{n}{\beta_5^2} - \frac{n}{\beta_6^2} \right) \\ = 4 \left[\cos \frac{n}{2} \varphi \sinh \frac{n}{2} \gamma + \sin \frac{n}{2} \varphi \sin \varphi \cosh \frac{n}{2} \gamma \right. \\ \left. + i \left(\cos \frac{n}{2} \varphi \sin \varphi \cosh \frac{n}{2} \gamma - \sin \frac{n}{2} \varphi \sinh \frac{n}{2} \gamma \right) \right]$$

oder mit

$$C = \cos \frac{n}{2} \varphi \sinh \frac{n}{2} \gamma + \sin \frac{n}{2} \varphi \sin \varphi \cosh \frac{n}{2} \gamma, \\ D = \cos \frac{n}{2} \varphi \sin \varphi \cosh \frac{n}{2} \gamma - \sin \frac{n}{2} \varphi \sinh \frac{n}{2} \gamma, \\ \left(\frac{1}{\beta_3^2} - \frac{1}{\beta_4^2} \right) \left(\frac{1}{\beta_5^2} + \frac{1}{\beta_6^2} \right) \left(\beta_3^2 - \beta_4^2 \right) = 4(C + i D).$$

Der variable Teil des Zählers lautet

$$\frac{\beta_3^2 - \beta_4^2}{\beta_3^2 + \beta_4^2} = 2 \left[\cos \left(\frac{n}{2} - x \right) \varphi \cosh \left(\frac{n}{2} - x \right) \gamma + i \sin \left(\frac{n}{2} - x \right) \varphi \sinh \left(\frac{n}{2} - x \right) \gamma \right] \\ = 2 [f_2^{(mr)}(x) + i f_3^{(mr)}(x)].$$

Wir setzen die vorstehend bestimmten Teilwerte in die Gl. 19 ein und erhalten:

$$K_2^{(mr)} F_2^{(mr)}(x) = \frac{(A + i B)(C + i D) [f_2^{(mr)}(x) + i f_3^{(mr)}(x)]}{2 N}$$

Auf dieselbe Weise erhält man

$$K_3^{(mr)} F_3^{(mr)}(x) = \frac{(A - i B)(C - i D) [f_2^{(mr)}(x) - i f_3^{(mr)}(x)]}{2 N}$$

Beim Zusammenziehen dieser beiden Gleichungen fallen die imaginären Glieder fort und es bleibt

$$K_2^{(mr)} F_2^{(mr)}(x) + K_3^{(mr)} F_3^{(mr)}(x) \\ = \frac{(A C - B D) f_2^{(mr)}(x) - (A D + B C) f_3^{(mr)}(x)}{N}$$

Mit den Bezeichnungen

$$\mathfrak{K}_2^{(mr)} = \frac{A C - B D}{N}, \\ \mathfrak{K}_3^{(mr)} = \frac{A D + B C}{N}$$

lautet der endgültige Ausdruck für

$$(21) \quad M x = \frac{P}{2 \sin \frac{\epsilon}{2}} \left[\mathfrak{K}_1^{(mr)} (\beta_1^x + \beta_1^{n-x}) \right.$$

$$\left. + \mathfrak{K}_2^{(mr)} \cos \left(\frac{n}{2} - x \right) \varphi \cosh \left(\frac{n}{2} - x \right) \gamma - \mathfrak{K}_3^{(mr)} \sin \left(\frac{n}{2} - x \right) \varphi \sinh \left(\frac{n}{2} - x \right) \gamma \right]$$

in reeller Form.

Stehen Tabellen der Hyperbelfunktionen nicht zur Verfügung, so kann man mittels nachstehender einfacher Beziehungen zur gewöhnlichen Rechnung übergehen:

$$\cosh \gamma x = \frac{1}{2} (e^{\gamma x} + e^{-\gamma x}) = \frac{1}{2} (e^{x \ln r} + e^{-x \ln r}) \\ = \frac{1}{2} (e^{\ln r^x} + e^{-\ln r^x}) = \frac{1}{2} \left(r^x + \frac{1}{r^x} \right), \\ \sinh \gamma x = \frac{1}{2} \left(r^x - \frac{1}{r^x} \right) \text{ usw.}$$

Ähnlich gestaltet sich die Umformung des Ausdruckes für Z_x .

Nach Gl. 18 lautet der erste Klammerausdruck

$$\frac{\alpha_1^2 (\beta_1 - 1)^2 (\beta_1^x - \beta_1^{n-x-1})}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_1 - \alpha_3) (\beta_1 + 1) (\beta_1^n - 1)} = \mathfrak{K}_1^{(zr)} (\beta_1^x - \beta_1^{n-x-1}),$$

wobei mit $\alpha_{2,3} = a \pm i b$

$$\mathfrak{K}_1^{(zr)} = \frac{\alpha_1^2 (\beta_1 - 1)^2}{[(a - \alpha_1)^2 + b^2] (\beta_1 + 1) (\beta_1^n - 1)} \text{ ist.}$$

Der zweite Klammerausdruck der Gl. 18 läßt sich auf die Form bringen:

$$-\alpha_2^2 \left(\frac{1}{\beta_3^2} - \frac{1}{\beta_4^2} \right)^2 \left(\frac{1}{\beta_3^2} \frac{(n-1) - x}{\beta_3^2} - \frac{1}{\beta_4^2} \frac{(n-1) - x}{\beta_4^2} \right) \\ (\alpha_2 - \alpha_1)(\alpha_2 - \alpha_3) \left(\frac{1}{\beta_5^2} + \frac{1}{\beta_6^2} \right) \left(\beta_3^2 - \beta_4^2 \right)$$

Er unterscheidet sich von dem konstanten Teil des zweiten Klammerausdruckes der Gl. 17 durch den Faktor

$$-\alpha_2 \left(\frac{1}{\beta_3^2} - \frac{1}{\beta_4^2} \right) = -(a + i b) 2 \left(\cos \frac{\varphi}{2} \sinh \frac{\gamma}{2} + i \sin \frac{\varphi}{2} \cosh \frac{\gamma}{2} \right) \\ = -(G + i H), \text{ wobei}$$

$$G = 2 \left(a \cos \frac{\varphi}{2} \sinh \frac{\gamma}{2} - b \sin \frac{\varphi}{2} \cosh \frac{\gamma}{2} \right) \text{ und} \\ H = 2 \left(a \sin \frac{\varphi}{2} \cosh \frac{\gamma}{2} + b \cos \frac{\varphi}{2} \sinh \frac{\gamma}{2} \right) \text{ ist.}$$

Mit diesen und den bei der Umformung von M_x eingeführten Konstanten lautet der zweite Klammerausdruck der Gl. 18

$$K_2^{(zr)} F_2^{(zr)}(x) = - \frac{(A + i B)(C + i D)(G + i H) [f_2^{(zr)}(x) + f_3^{(zr)}(x)]}{2 N}$$

Durch Zusammenziehen der entsprechenden Glieder des zweiten und dritten Klammerausdruckes ergibt sich mit

$$\mathfrak{K}_2^{(zr)} = - \frac{(A C - B D) G - H(B C + A D)}{N} = \mathfrak{K}_2^{(mr)} G - \mathfrak{K}_3^{(mr)} H \text{ und} \\ \mathfrak{K}_3^{(zr)} = - \frac{(A C - B D) H + (B C + A D) G}{N} = \mathfrak{K}_2^{(mr)} H + \mathfrak{K}_3^{(mr)} G;$$

$$(22) \quad Z_x = \frac{P}{2 \sin \frac{\epsilon}{2}} \left[\mathfrak{K}_1^{(zr)} (\beta_1^x + \beta_1^{n-x-1}) \right.$$

$$\left. - \mathfrak{K}_2^{(zr)} \cos \left\{ \frac{1}{2} (n-1) - x \right\} \varphi \sinh \left\{ \frac{1}{2} (n-1) - x \right\} \gamma \right. \\ \left. + \mathfrak{K}_3^{(zr)} \sin \left\{ \frac{1}{2} (n-1) - x \right\} \varphi \cosh \left\{ \frac{1}{2} (n-1) - x \right\} \gamma \right].$$

Der Vollständigkeit halber hat der Verfasser allgemeine Formeln für M_x und Z_x bei komplexen Wurzeln α und β abgeleitet. In praktischen Fällen kann man auch die Zahlenwerte der komplexen Wurzeln α und β direkt in die Gl. 17 u. 18 einsetzen. Der zweite und dritte Klammerwert dieser Gleichungen lassen sich durch Multiplikation mit den konjugiert komplexen Zahlen der Faktoren der Nenner auf die Form bringen:

$$(g + i h) [f_2(x) + i f_3(x)] + (g - i h) [f_2(x) - i f_3(x)] \\ = 2 [g f_2(x) - h f_3(x)] \text{ (reell!)}.$$

Für $J = \infty$ ergibt sich $c = \infty$.

Aus Gl. 6 folgt

$$\alpha_1 = \frac{2(1 - \cos \epsilon)}{n}, \quad \alpha_2 = \alpha_3 = 0, \text{ und aus Gl. 9a, 9b und 9c} \\ \beta_{1,2} = 1, \quad \beta_{3,4} = \beta_{5,6} = \cos \epsilon \pm i \sin \epsilon.$$

Setzt man diese Werte in die Gl. 18 ein, so erhält man

$$(23) \quad Z_x = \frac{2P}{n} \sin\left(\frac{1}{2} + x\right)\epsilon.$$

Ferner ergibt sich aus Gl. 21

$$(24) \quad M_x = \frac{Ps}{4n \sin \frac{\epsilon}{2}} \left[\cotg \frac{\epsilon}{2} + \cotg \epsilon \cos x \epsilon - (n-2x) \sin x \epsilon \right].$$

Die Gl. 23 deckt sich mit der von Müller-Breslau für vollkommen starren Ring abgeleiteten Formel (s. Hütte, Bd. III).

1. Zahlenbeispiel. Denselben werden die ungefähren Abmessungen des in dem Werk von André, „Die Statik des Eisenbaues“, S. 346, behandelten Kühlturmes zugrunde gelegt. Dabei wird $J = 6000 \text{ cm}^4$ angenommen, κ errechnet sich zu $\kappa = 0,50 \text{ cm/t}$. Mit $s = 400 \text{ cm}$, $E = 2100 \text{ t/cm}^2$ erhält man $c = \frac{6EJ\kappa}{s} = 94500 \text{ cm}^2$.

Ferner ergibt sich mit

$$\begin{aligned} n &= 8, \quad \epsilon = 45^\circ \\ \alpha_1 &= 0,00731 \text{ cm}^{-1}, \quad \alpha_{2,3} = (-0,002619 \pm 0,004566 i) \text{ cm}^{-1}, \\ \beta_1 &= +3,1658, \quad \beta_2 = +0,3159, \\ \beta_{3,5} &= 0,5244 \pm 1,8029 i, \\ \beta_{4,6} &= 0,1490 \pm 0,5113 i \quad \text{und mit } P = 1 \text{ t} \\ M_0 &= 78,68 \text{ tcm}, \quad Z_0 = 0,2982 \text{ t}, \\ M_1 &= -34,45 \text{ tcm}, \quad Z_1 = 0,3522 \text{ t}, \\ M_2 &= -22,33 \text{ tcm}, \quad Z_2 = 0,0755 \text{ t}, \\ M_3 &= +8,33 \text{ tcm}, \quad Z_3 = -0,0242 \text{ t}, \\ M_4 &= +18,20 \text{ tcm}. \end{aligned}$$

Wie man sich leicht überzeugen kann, stimmen die Proben

$$\sum_0^n M_x = 0, \quad \sum_0^n M_x \cos x \epsilon = 0 \quad \text{und} \quad \sum_0^n Z_x \sin\left(\frac{1}{2} + x\right)\epsilon = P = 1$$

sehr gut.

Für $J = \infty$ erhält man unter sonst gleichen Voraussetzungen aus Gl. 23 und 24

$$\begin{aligned} Z_0 = Z_3 &= 0,0957 \text{ t}, & Z_1 = Z_2 &= 0,231 \text{ t}, \\ M_0 &= 111,52 \text{ tcm}, & M_3 &= -51,80 \text{ tcm}, \\ M_1 &= -36,63 \text{ tcm}, & M_2 &= +9,58 \text{ tcm}, \\ M_4 &= +46,2 \text{ tcm}. \end{aligned}$$

Die Abweichung der für die Dimensionierung maßgebenden größten Werte beträgt beim Moment etwa -29% und bei der Stützkraft etwa $+34\%$. Beim Rechnen nach den Formeln 23 und 24 wird der Ring überdimensioniert, während die Stützstäbe zu schwach bemessen werden. Dort, wo der Materialaufwand des Ringes im Verhältnis zu dem der Wände verhältnismäßig gering ist, wird es zweckmäßig sein, durch Verstärkung des Ringes eine günstigere Lastverteilung auf die Wände zu erreichen.

In Abb. 6 u. 7 wurden die Ergebnisse des Zahlenbeispiels gegenübergestellt.

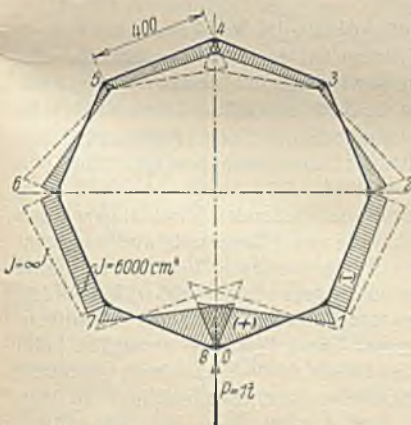


Abb. 6. Momente.

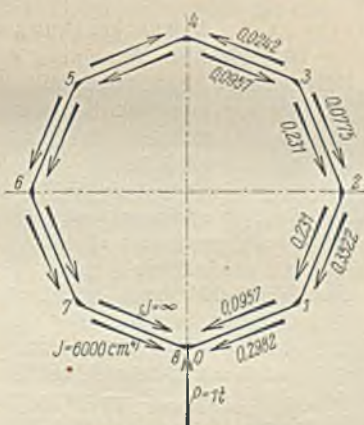


Abb. 7. Stützkraft.

3. Ableitung der Formeln für eine tangentielle Lastverteilung.

Bei tangentialer Lastverteilung gelangt man zu demselben System simultaner Differenzgleichungen 2 und 3 wie bei radialer Lastverteilung. Nur die zur Bestimmung der Konstanten dienende Gl. 1a lautet hier (vgl. Abb. 8)

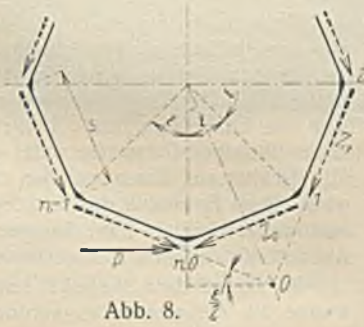


Abb. 8.

$$(1a') \quad M_{x-1} - M_x(1 + 2 \cos \epsilon) + M_{x+1}(1 + 2 \cos \epsilon) - M_{x+2} = -Z_x s \sin \epsilon + P_x s \sin \frac{\epsilon}{2}.$$

Auch die allgemeinen Lösungen Gl. 10 u. 11 des simultanen Gleichungssystems behalten ihre Gültigkeit. Die Konstanten C_1 bis C_6 müssen neu bestimmt werden.

Mit Rücksicht auf die Polarsymmetrie gilt die Beziehung

$$(25) \quad M_x = -M_{n-x}$$

Nach derselben Umformung wie unter d) folgt daraus

$$(26) \quad C_2 = -C_1 \beta_1^n, \quad C_4 = -C_3 \beta_3^n, \quad C_6 = -C_5 \beta_5^n.$$

Ferner muß $M_0 = 0$ sein.

Daraus ergibt sich

$$C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6 = 0$$

oder mit den Gl. 26

$$(27) \quad C_1(\beta_1^n - 1) + C_3(\beta_3^n - 1) + C_5(\beta_5^n - 1) = 0.$$

Aus $Z_0 = Z_n$ erhält man dieselbe Gl. 13

$$\begin{aligned} (C_1 + C_2 \beta_2^{n+1}) \alpha_1 (\beta_1 - 1) (\beta_1^n - 1) + \\ (C_3 + C_4 \beta_4^{n+1}) \alpha_2 (\beta_3 - 1) (\beta_3^n - 1) + \\ (C_5 + C_6 \beta_6^{n+1}) \alpha_3 (\beta_5 - 1) (\beta_5^n - 1) = 0. \end{aligned}$$

In diese Gleichung die Gl. 26 eingesetzt, folgt

$$(28) \quad C_1 \frac{\alpha_1}{\beta_1} (\beta_1 - 1)^2 (\beta_1^n - 1) + C_3 \frac{\alpha_2}{\beta_3} (\beta_3 - 1)^2 (\beta_3^n - 1) + C_5 \frac{\alpha_3}{\beta_5} (\beta_5 - 1)^2 (\beta_5^n - 1) = 0.$$

Die der Gl. 14 entsprechende Gleichung lautet für die tangentielle Lastverteilung

$$C_1 \beta_2 (\beta_1^n - 1) - C_2 \beta_2^{n-1} (\beta_1^n - 1) + \dots = Ps \sin \frac{\epsilon}{2}$$

und bei Beachtung der Gl. 26

$$(29) \quad C_1(\beta_1^n - 1)(\beta_1 + \beta_2) + C_3(\beta_3^n - 1)(\beta_3 + \beta_4) + C_5(\beta_5^n - 1)(\beta_5 + \beta_6) = Ps \sin \frac{\epsilon}{2}.$$

Die Auflösung der Gl. 27, 28 u. 29 ergibt bei Berücksichtigung der Gl. 4 u. 6

$$\begin{aligned} C_1 &= -\frac{P}{2 \cos \frac{\epsilon}{2}} \cdot \frac{\alpha_1}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_1 - \alpha_3)(\beta_1^n - 1)}, \\ C_3 &= -\frac{P}{2 \cos \frac{\epsilon}{2}} \cdot \frac{\alpha_2}{(\alpha_2 - \alpha_1)(\alpha_2 - \alpha_3)(\beta_3^n - 1)}, \\ C_5 &= -\frac{P}{2 \cos \frac{\epsilon}{2}} \cdot \frac{\alpha_3}{(\alpha_3 - \alpha_1)(\alpha_3 - \alpha_2)(\beta_5^n - 1)}. \end{aligned}$$

Der Ausdruck für das Moment lautet daher

$$(30) \quad M_x = -\frac{P}{2 \cos \frac{\epsilon}{2}} \left\{ \frac{\alpha_1 (\beta_1^x - \beta_1^{n-x})}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_1 - \alpha_3)(\beta_1^n - 1)} + \frac{\alpha_2 (\beta_3^x - \beta_3^{n-x})}{(\alpha_2 - \alpha_1)(\alpha_2 - \alpha_3)(\beta_3^n - 1)} + \frac{\alpha_3 (\beta_5^x - \beta_5^{n-x})}{(\alpha_3 - \alpha_1)(\alpha_3 - \alpha_2)(\beta_5^n - 1)} \right\}.$$

Für die Stützkraft erhält man

$$(31) \quad Z_x = -\frac{P}{2 \cos \frac{\epsilon}{2}} \left\{ \frac{\alpha_1^2 (\beta_1 - 1) (\beta_1^x + \beta_1^{n-x-1})}{(\alpha_1 - \alpha_2)(\alpha_1 - \alpha_3)(\beta_1^n - 1)} + \frac{\alpha_2^2 (\beta_3 - 1) (\beta_3^x + \beta_3^{n-x-1})}{(\alpha_2 - \alpha_1)(\alpha_2 - \alpha_3)(\beta_3^n - 1)} + \frac{\alpha_3^2 (\beta_5 - 1) (\beta_5^x + \beta_5^{n-x-1})}{(\alpha_3 - \alpha_1)(\alpha_3 - \alpha_2)(\beta_5^n - 1)} \right\}.$$

Bei komplexen Wurzeln α und β lassen sich auf gleiche Weise, wie bei radialer Lastverteilung, Formeln für M_x und Z_x ableiten. Sie lauten mit den Konstanten

$$\begin{aligned} A &= b \alpha_1, \quad B = a(a - \alpha_1) + b^2, \\ C' &= \cos \frac{n}{2} \varphi \Xi \sin \frac{n}{2} \gamma, \quad D' = \sin \frac{n}{2} \varphi \cos \frac{n}{2} \gamma, \\ N' &= \frac{1}{2} b [(a - \alpha_1)^2 + b^2] (\cos n \varphi - \cos n \gamma), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mathfrak{M}_1^{(ml)} &= \frac{\alpha_1}{[(a - \alpha_1)^2 + b^2] (\beta_1^n - 1)}, \\ \mathfrak{M}_2^{(ml)} &= \frac{AC' + BD'}{N'}, \quad \mathfrak{M}_3^{(ml)} = \frac{BC' - AD'}{N'}. \end{aligned}$$

$$(32) \quad M_x = -\frac{P}{2 \cos \frac{\epsilon}{2}} \left\{ \mathfrak{M}_1^{(ml)} (\beta_1^{ml} - \beta_1^{n-ml}) - \mathfrak{M}_2^{(ml)} \cos\left(\frac{n}{2} - x\right) \varphi \Xi \sin\left(\frac{n}{2} - x\right) \gamma + \mathfrak{M}_3^{(ml)} \sin\left(\frac{n}{2} - x\right) \varphi \cos\left(\frac{n}{2} - x\right) \gamma \right\}.$$

$$\begin{aligned} G &= 2 \left(a \cos \frac{\varphi}{2} \sin \frac{\gamma}{2} - b \sin \frac{\varphi}{2} \cos \frac{\gamma}{2} \right), \\ H &= 2 \left(a \sin \frac{\varphi}{2} \cos \frac{\gamma}{2} + b \cos \frac{\varphi}{2} \sin \frac{\gamma}{2} \right), \\ R_1^{(z,t)} &= \frac{\alpha_1^2 (\beta_1 - 1)}{[(a - \alpha_1)^2 + b^2] (\beta_1^n - 1)}, \\ R_2^{(z,t)} &= R_2^{(m,t)} G - R_3^{(m,t)} H, \\ R_3^{(z,t)} &= R_3^{(m,t)} G + R_2^{(m,t)} H, \\ (33) \quad Z_x &= \frac{-P}{2 \cos \frac{\varepsilon}{2}} \left[R_1^{(z,t)} (\beta_1^x + \beta_1^{n-x-1}) \right. \\ &\quad \left. + R_2^{(z,t)} \cos \left\{ \frac{1}{2} (n-1) - x \right\} \varphi \cos \left\{ \frac{1}{2} (n-1) - x \right\} \gamma \right. \\ &\quad \left. - R_3^{(z,t)} \sin \left\{ \frac{1}{2} (n-1) - x \right\} \varphi \sin \left\{ \frac{1}{2} (n-1) - x \right\} \gamma \right]. \end{aligned}$$

Bei $J = \infty$ erhält man

$$(34) \quad Z_x = -\frac{P}{n} \left[\frac{1}{\cos \frac{\varepsilon}{2}} + 2 \cos \left(\frac{1}{2} + x \right) \varepsilon \right]$$

$$(35) \quad M_x = -\frac{P_s}{4 \sin \frac{\varepsilon}{2}} \left[\frac{1}{n} \left(2 \cotg \frac{\varepsilon}{2} - \cotg \varepsilon \right) \sin \varepsilon x \right. \\ \left. - (1 - \cos \varepsilon x) \left(1 - \frac{2x}{n} \right) \right].$$

Die Gl. 34 läßt sich auch auf einfache Weise durch Belastungs-umordnung direkt aus der Gl. 23 ableiten.

2. Zahlenbeispiel. Bei demselben werden die gleichen Abmessungen und Steifigkeitsverhältnisse wie bei dem für radiale Last-richtung vorausgesetzt. Es sind dann auch die α - und β -Werte die gleichen und man erhält nach Gl. 32 u. 33

$$\begin{aligned} M_0 &= 0, & Z_0 &= -0,4311 \text{ t}, \\ M_1 &= -18,28 \text{ tcm}, & Z_1 &= -0,1619 \text{ t}, \\ M_2 &= +5,19 \text{ tcm}, & Z_2 &= +0,0152 \text{ t}, \\ M_3 &= +10,99 \text{ tcm}, & Z_3 &= +0,0365 \text{ t}, \\ M_4 &= 0. \end{aligned}$$

Bei $J = \infty$ ergibt sich aus Gl. 34 u. 35

$$\begin{aligned} M_0 &= 0, & Z_0 &= -0,3663 \text{ t}, \\ M_1 &= -31,03 \text{ tcm}, & Z_1 &= -0,2310 \text{ t}, \\ M_2 &= +5,61 \text{ tcm}, & Z_2 &= -0,0396 \text{ t}, \\ M_3 &= +23,09 \text{ tcm}, & Z_3 &= +0,0957 \text{ t}, \\ M_4 &= 0. \end{aligned}$$

Die Proben

$$\sum_0^n M_x \sin \varepsilon x \quad \text{und} \quad \sum_0^n Z_x \cos \left(\frac{1}{2} + x \right) \varepsilon = P = 1 \text{ t}$$

stimmen genau.

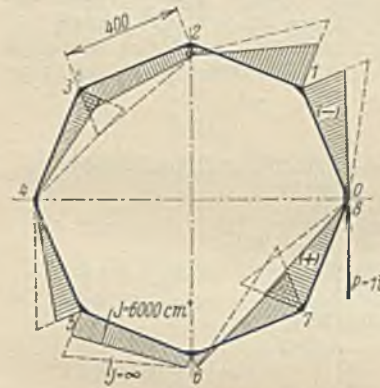


Abb. 9. Momente.

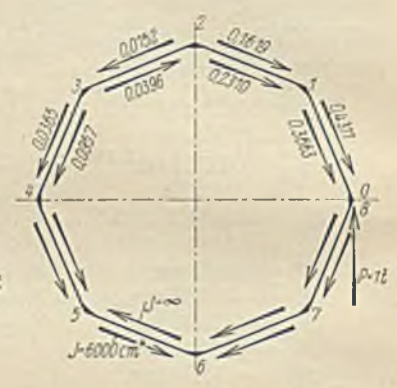


Abb. 10. Stützkräfte.

In die Abb. 9 u. 10 wurden die errechneten Werte des Zahlenbeispiels eingetragen. Es fällt dabei auf, daß die Momente des elastischen und vollkommen starren Ringes stark voneinander abweichen. Dies ist dadurch ohne weiteres erklärlich, daß bei elastischem Stabring der größte Teil der tangentialen Last P von den beiden Stützstäben 0—1 und 0—7 aufgenommen wird, während bei vollkommen starrem Stabring ein größerer Teil der Last in die anderen Nutzstäbe geleitet wird, die dann im Ring selbst die größeren Biegemomente erzeugen.

Tafelglasfabrik nach dem Fourcault-Ziehverfahren in Weiden (Oberpfalz).

Alle Rechte vorbehalten.

Von Oberingenieur E. Möckel, Saarbrücken.

1. Allgemeines.

Bekanntlich wurde in Deutschland bis zum Jahre 1920 Fenster- und Tafelglas nach dem Mundblaseverfahren hergestellt, derart, daß durch Glasbläser mit einer mehr oder minder langen Pfeife aus der Schmelzwanne ein Klumpen flüssiges Glas herausgeholt und zu großen Zylindern geblasen wurde, welche nachher aufgeschnitten, in Strecköfen wieder erwärmt und von Hand zu ebenen Platten gebügelt wurden. Dieses Verfahren war mehr als 100 Jahre dasselbe geblieben, nur war beim Bau neuerer Hütten darauf Rücksicht genommen, den Glasbläsern durch geeignete Lüftungseinrichtungen während ihrer schweren Arbeit etwas Kühlung zu verschaffen. In Belgien und der Tschechoslowakei verwendete man bereits seit einigen Jahren Maschinen nach dem Verfahren Fourcault bzw. Libbey-Owens, um das Glas in einem endlos fließenden Band aus der Glaswanne herauszuziehen. Bei dem Fourcault-Verfahren steigt das Glas in senkrechter Richtung hoch und wird, nachdem das Band eine gewisse Höhe erreicht hat, abgeschnitten und abgebrochen. Bei dem Verfahren nach Libbey-Owens steigt das Glasband auch zunächst senkrecht hoch, wird jedoch dann um eine Walze waagrecht abgebogen und läuft nun in einem Kanal auf Walzen bis zu einem Abschneidetisch. In Deutschland ist nur eine Glashütte nach dem Libbey-Owens-Verfahren in Betrieb, während jedoch etwa zehn Hütten nach dem Fourcault-Verfahren arbeiten. Mit diesen Verfahren ist durch eine wesentliche Verminderung der Arbeitskräfte, ferner durch die Verringerung der Arbeitsvorgänge, durch Verringerung des Glasbruches und schließlich durch die Erhöhung der Erzeugung gegenüber dem Mundblaseverfahren eine wesentliche Verringerung der Herstellungskosten verbunden. Im Anfang verursachte die Herstellung unverzerrten Glases im maschinellen Verfahren gewisse Schwierigkeiten. Heute sind jedoch diese Schwierigkeiten mit der Vervollkommnung des Verfahrens fast verschwunden. Um mit dem Ausland erfolgreich in Wettbewerb treten zu können, waren die deutschen Glashütten gezwungen, ihre Erzeugung ebenfalls maschinell einzurichten. Nachstehend ist eine der modernsten Anlagen nach dem Fourcault-Ziehverfahren, die der Tafel-, Sallen- und Spiegelglasfabriken A.-G. in Nürnberg gehörende Tafelglasfabrik in Weiden (Oberpfalz) eingehend beschrieben. Diese Anlage wurde von der Firma B. Seibert G. m. b. H., Saarbrücken, erbaut.

In enger Zusammenarbeit und ständiger Fühlungnahme mit dem Leiter des genannten Unternehmens, Generaldirektor Dr. Seeling, wurde die gesamte Gestaltung der Neuanlage in Weiden nach bautechnischen und glasfachmännischen Gesichtspunkten entworfen und festgelegt.

2. Beschreibung der Anlage in Weiden.

Die allgemeine Anordnung der Anlage ist aus Abb. 1 ersichtlich. Die Hütte ist für 9 Maschinen erstellt. Zuerst wurden nur 6 Maschinen eingebaut. Ein Jahr nach Inbetriebnahme wurden die 3 restlichen Maschinen aufgestellt.

Die Rohstoffe für die Glaserzeugung: Sand, Soda, Kalk und Sulfat werden mittels fahrbarer Transportbänder von Eisenbahnwagen nach den geräumigen Rohbunkern im Gebäudeteil A—B 1—7 (vgl. Abb. 1, 2 u. 3) befördert. In einem an diese Rohbunker anschließenden Mischraum werden die jeweils geeigneten einzelnen Rohstoffe unter Benutzung automatischer Waagen gemischt und mittels eines Becherwerkes in besondere Bunker von 75 m³ Inhalt befördert. Der für einen guten Schmelzprozeß erforderliche Glasscherbenzusatz wird aus den daneben liegenden Scherbenbunkern von ebenfalls 75 m³ Inhalt entnommen. Diese Scherben entstehen beim Ziehprozeß sowie beim Schneiden des Glases und werden durch geeignete Fördereinrichtungen aus dem Maschinen- bzw. Schneidesaal zu den Scherbenbunkern gebracht (Abb. 3).

Die eigentliche Schmelzwanne (in der Ofenhalle) ist etwa 30 m lang und hat 6 m lichte Breite. Das Gemenge und die Scherben werden auf der Einlegebühne vor Kopf der Wanne mittels kleiner Wagen aus den Bunkern abgezogen und in die Wanne geschüttet. Rechts und links von der Ofenhalle sind in Anbauten die Temperöfen eingebaut, in welchen die für den Wannenbetrieb benötigten Schwimmer und Debitusen auf die erforderliche Temperatur gebracht werden. Unter Debitusen versteht man die aus einem Stück hergestellten gebrannten Tonkörper, welche in der flüssigen Glasmasse unter den Maschinen sitzen. Sie weisen einen Mittelschlitz auf, durch welchen die Glasmasse in die Maschinen gezogen wird. Beim Einsetzen der Tonkörper in die flüssige Glasmasse muß eine bestimmte, ziemlich hohe Temperatur vorhanden sein. In einem weiteren Anbau befinden sich Kesselhaus und Schmiede.

Im eigentlichen Maschinenhaus sind im Anschluß an die Schmelzwanne die Ziehwannen angeordnet, welche drei Kreuzformen bilden und

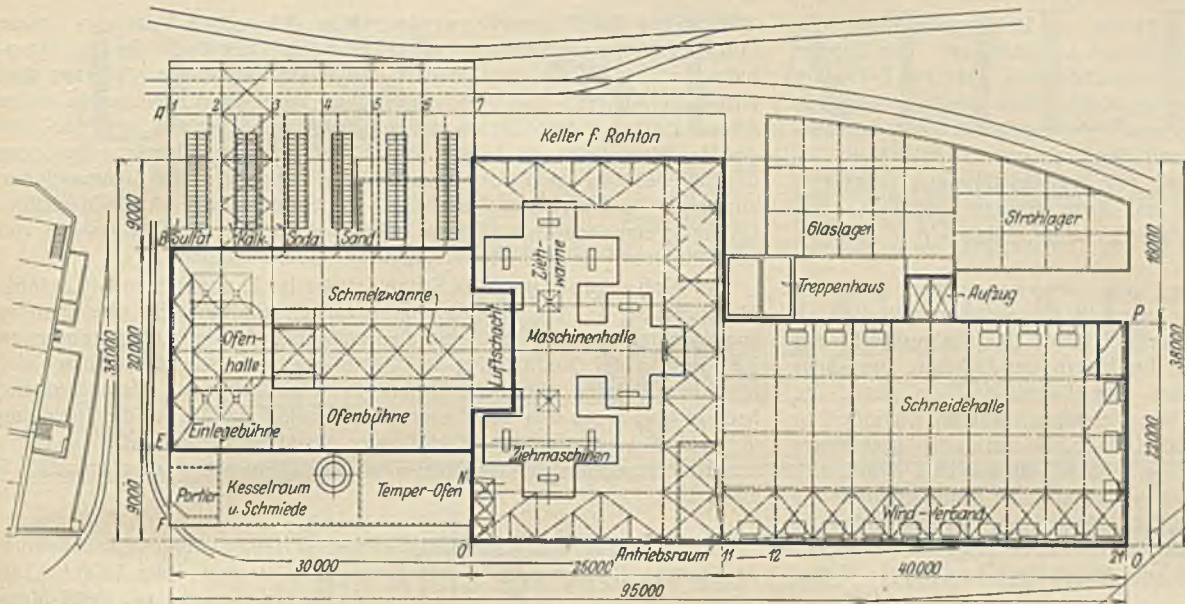


Abb. 1. Grundriß.

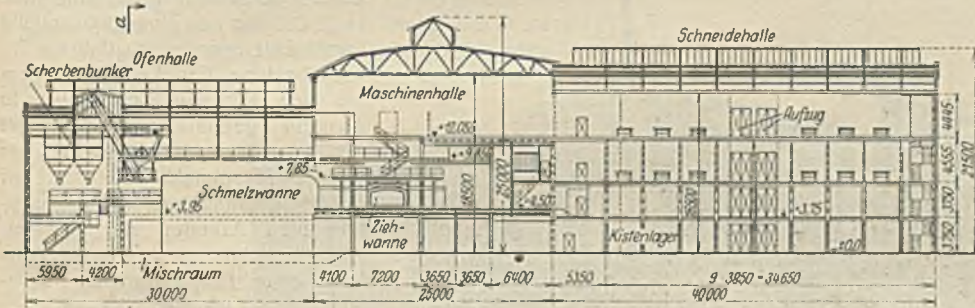


Abb. 3. Längsschnitt.

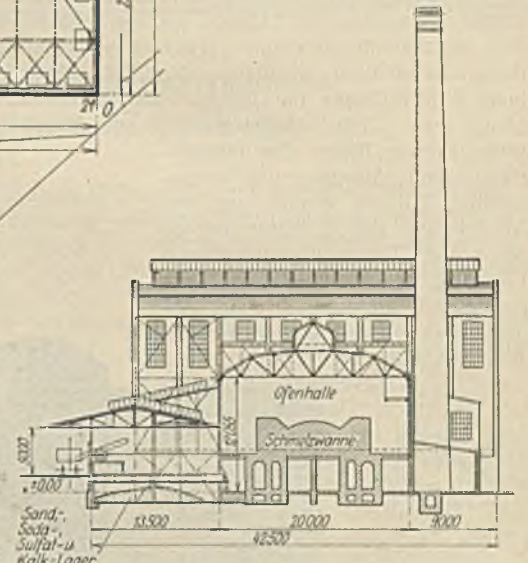


Abb. 2. Querschnitt durch die Ofenhalle.

über welchen die Ziehmaschinen von etwa 5 bis 5,5 m Höhe sitzen. In dieser Halle befinden sich:

- die Hauptbühne auf + 4,5 m Höhe zur Regelung und Beobachtung der Temperatur des flüssigen Glases in der Ziehwanne, Einsetzen der Debitusen, Einleiten des Ziehvorganges usw.,
- eine um die Ziehmaschinen herum angeordnete Zwischenbühne auf + 7,85 m Höhe zur Maschinenbedienung und Entfernen von evtl. Bruchglas beim Springen des Glasbandes während des Ziehens,
- eine Abschneidebühne auf + 9,855 m Höhe, auf welcher das Glasband, wenn es eine bestimmte regulierbare Höhe erreicht hat, abgeschnitten wird,
- eine Abbrechbühne auf + 12,055 m Höhe, auf welcher die angeschnittenen Scheiben abgebrochen und auf Holzgestelle gestapelt werden (Abb. 3 u. 4).

Von hier aus werden die Glasgestelle mittels kleiner Hubwagen in die Schneidehalle P—O 11—21 (Abb. 1) gebracht. In zwei großen Sälen von je 22 m Breite und 40 m Länge sind an den Wänden entlang eine Anzahl Schneidetische aufgestellt, auf welchen das Glas sortiert und geschnitten wird. Gleichzeitig wird in diesen Räumen das Glas verpackt. Die für die Verpackung benötigten Kisten werden im Kistenlager (Erdgeschoß der Schneidehalle) angefertigt (Abb. 3). Auf Höhenkote + 3,75 befindet sich eine Bühne von 40 · 22 m, welche als Lagerraum für Gaskisten dient. Ein weiteres Glaslager ist in einem besonderen, direkt am Anschlußgleis liegenden Bau untergebracht. In einer Abteilung dieses Anbaues befindet sich das Strohlager zur Stapelung des für die Verpackung benötigten Strohes. — Dem Verkehr zwischen den beiden Schneidestuben, dem Strohlager, dem Kisten- und Glaslager dienen zwei an der Seitenwand

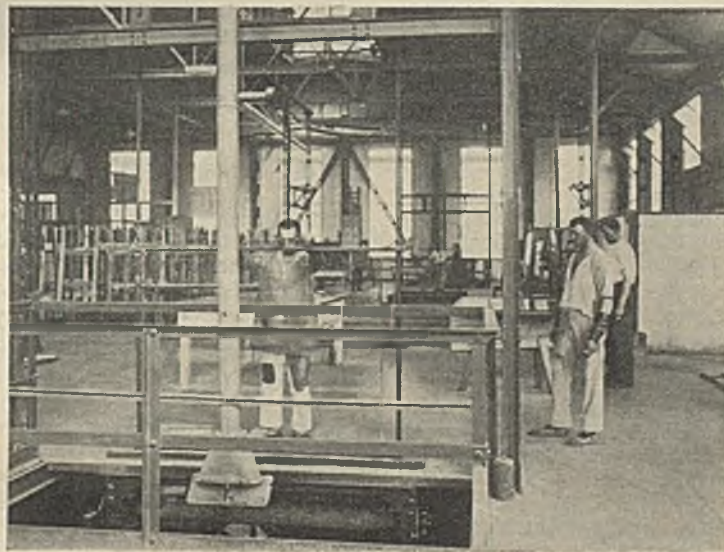


Abb. 4. Abbrechen einer Glasscheibe.

Sowohl Ofen- wie Maschinenhaus sind wegen der hohen auftretenden Temperaturen mit durchlaufenden Entlüftungshauben versehen. Ferner sind in den Bühnen des Maschinenhauses an geeigneten Stellen Lüftungsschächte und Ventilatoren eingebaut, um den Arbeitern an den Maschinen frische bzw. bewegte Luft zuzuführen.

Die Belichtung erfolgt durch durchlaufende Oberlichter in den Hallenfirsten, sowie große Fensterflächen in den Umfassungswänden.

Soweit wie möglich sind sämtliche Bühnen im Ofen- und Maschinenhaus unabhängig von den auf eigenen Fundamenten ruhenden Schmelz- und Ziehwannen gelagert. Wo dies wegen der Kanalführung der Wann

nicht möglich war, sind die Auflager der Bühnenträger und Unterzüge mit Walzenlagern ausgestattet, um ein ungehindertes Ausdehnen der Wann

Bei der Größe der Wann

treten bei Inbetriebnahme Längenänderungen bis zu 80 mm auf. Bei einer Glashütte in Belgien wurde bei einem neugebauten Werk beobachtet, daß schwere Stützen aus \square 26 bis zu 90 mm verschoben waren und durch die Einspannung im Boden und an der oberen Bühne eine ζ -Form angenommen hatten. Hierdurch sind auch erhebliche Spannungen im Wann

Wannenmauerwerk selbst aufgetreten. Ein weiteres Erfordernis für ein einwandfreies Arbeiten der Maschinen ist die nachträgliche Regulierung der Seiten- und Höhenlage derselben, je nach Ausdehnung der Wann

nach Inbetriebnahme bzw. nach großen Wann

Wannenreparaturen.

3. Bauliche Ausbildung.

a) Durchbildung des Daches, der Wände und Bühnen. Die Dacheindeckung bei allen Hallen besteht aus eisernarmierten, 8 cm dicken Bimsbetonstegzementdielen mit doppelter teerfreier Papplage. Im

Hallenfirst sind breite Oberlichter, teilweise mit Lüftungsaufsätzen, vorgesehen. Alle Wände sind einhalbsteinstark ausgemauert. Die Bühnen sind je nach ihrer Bestimmung als Riffelblechbühnen oder aus I-Trägern mit Betonbelag und Holzpfaster durchgebildet. Eine Ausnahme hiervon machen die Ofenbühne im Ofenhaus und die Hauptbühne im Maschinenhaus, welche aus Ziegelgewölben mit darüberliegender Rollschicht bestehen, da es vorkommen kann, daß ein Teil der flüssigen Glasmasse bei Reparaturen oder Wannenbruch auf diese Bühnen geschöpft wird. Die Bühnen sind je nach Erfordernis für eine Nutzlast von 400 bis 1500 kg/m² berechnet.

b) Aufnahme und Ableitung von waagerechten Kräften. Um die vielfachen Arbeitsvorgänge innerhalb der einzelnen Hallen in keiner Weise zu beeinträchtigen, durften keine Diagonalverbände zur Ableitung von waagerechten Kräften im Innern der Gebäude eingebaut werden. Die Maschinenhalle ist bis zum Dachfirst 25 m hoch, die Schneidehalle 21,5 m. Außer der Windbelastung, welche nach den in Bayern gültigen Bestimmungen mit 150 kg/m² senkrecht getroffener Fläche einzusetzen ist, kamen noch erhebliche waagerechte Kräfte aus dem Maschinenbetrieb hinzu. Um eine möglichst große Standsicherheit der Hallen zu erhalten, wurden in der Ofen-, Maschinen- und Schneidehalle hohe Windverbände im Untergurt der Hallenbinder eingebaut. An den Längs- bzw. Giebelwänden wurden zur Ableitung waagerechter Kräfte breite Portale hinter der einhalbsteinstarken Ausmauerung vorgesehen. Hierbei mußte auf die Ausdehnung der Gebäude infolge der großen Temperaturunterschiede Rücksicht genommen werden, um zusätzliche Spannungen in der Gebäudekonstruktion zu vermeiden. Aus dem Grundriß (Abb. 1) ist die Lage der Windverbände und Portale ersichtlich. Durch diese Anordnung können sich die Gebäudeteile nach allen Seiten frei ausdehnen. Aus diesem Grunde wurden sämtliche Gebäudestützen als Pendelstützen durchgebildet.

c) Ofenhalle. Die Ofenhalle ist 20 m breit und 30 m lang. Die über der Einlegebühne befindlichen Gemenge- und Scherbenbunker mit einem Gesamtvolumen von 150 m³ sind an den Dachbindern aufgehängt, ebenfalls alle zur Bedienung der Bunker und der Aufzugsvorrichtungen erforderlichen Bühnen, da durchgehende Stützen für die im Keller liegenden Gaswechsellrommeln und die Führung der Rauch- und Gaskanäle für die Wannenbeheizung hinderlich waren. Die Ofenbühne auf + 3,95 m Höhe ist einerseits in den Längswänden gelagert, andererseits liegen die Träger auf dem Fundamentmauerwerk der Wannen auf Walzenlagern.

d) Maschinenhalle. Die Maschinenhalle ist 25 m breit und 38 m lang. Die Stützenanordnung für die übereinanderliegenden Bühnen ist bedingt durch die Stellung der Maschinen und Lage der Ziehwannen. Ein Teil der Stützen im Innern der Halle ist bis zur Abbrechbühne durchgeführt. Zwischen Maschinen- und Ofenhalle durfte auf eine Breite von

20 m keine Stütze gestellt werden. Von B7 nach E7 ist aus diesem Grunde ein schwerer Unterzug zur Aufnahme der Dachbinder der Maschinenhalle und der Pfetten der Ofenhalle eingebaut. An diesen Unterzug sind ferner die Abbrech- und Abschneidebühne vorgelagert. Weiterhin ist an diesem Unterzug eine Trennwand angehängt zum Abschluß der Ofen- von der Maschinenhalle, um zu verhindern, daß der feine Gemengestaub von der Einlegebühne nach der Maschinenhalle zieht und in die Ziehmaschinen eindringt. Auch zwischen Maschinen- und Schneidehaus ist ein derartiger Unterzug eingebaut, da Stützen beim Durchfahren der Glasgestelle von den Maschinen zu den Schneidetischen hindern würden.

e) Schneidehaus. Das Schneidehaus ist 22 m breit und 40 m lang. Mit Rücksicht auf die erheblichen Nutzlasten aus den drei übereinander angeordneten Bühnen ist die Stützenentfernung in der Längsrichtung zu 3,85 und in der Querrichtung zu 5,50 m gewählt. Da die Höhenlage der einzelnen Bühnen durch die Bühne der anschließenden Maschinenhalle bedingt war, ergab sich bei dieser Stützenentfernung die für die Stapelung der Kisten usw. erforderliche Höhe der einzelnen Geschosse.

Die Gesamtansicht der Anlage von der Bahnseite aus ist aus Abb. 5 ersichtlich.

4. Verschiedenes.

Das Gesamtgewicht der Stahlkonstruktion des Bauwerkes einschließlich der Bunker, Becherwerke, Skipförderung usw. beträgt etwa 1300 t. Die

Aufstellung wurde mit Stahl-Montagemasten in drei Monaten durchgeführt. Alle Nebenarbeiten, Einrichtungen, das Mauern der Wannen usw., wurden nach einem aufgestellten Zeitplan in verhältnismäßig kurzer Zeit beendet, so daß die Inbetriebnahme der Anlage zu dem bei den Auftragverhandlungen in Aussicht genommenen Zeitpunkt erfolgen konnte. Dies war bei der großen Mannigfaltigkeit der auf einem beschränkten Raum auszuführenden Arbeiten nur dadurch möglich, daß in gewissen Zeitabständen Besprechungen stattfanden, bei welchen alle am Bau und der Einrichtung der Anlage beteiligten Firmen vertreten waren. Die Einrichtung der Anlage hat sich

glänzend bewährt, so daß sie als Musteranlage für maschinelles Ziehen von Glas dienen kann. In der letzten Zeit sind Bestrebungen im Gange, die Anzahl der Maschinen zu verringern, die Breite der Maschinen jedoch zu vergrößern. Hierdurch hofft man, den Glasfluß in der Ziehwanne günstiger zu gestalten und die Herstellungskosten für das Glas durch die geringere Zahl von Arbeitern noch weiter herabzudrücken. Bei der ebenfalls von der Firma B. Seibert G. m. b. H., Saarbrücken, im Jahre 1930 erbauten zweiten Fabrik der Rheinischen Ziehglast A.-G. in Porz-Urbach sind z. B. nur noch 3 Maschinen vorgesehen mit einer Kapazität von etwa 80% gegenüber einer Anlage von 9 Maschinen. Ähnliche Anlagen mit 8 bis 10 Maschinen wurden von der gleichen Stahlbauanstalt ferner in Sulzbach a. d. Saar, St. Ingbert a. d. Saar und Torgau a. d. Elbe errichtet.

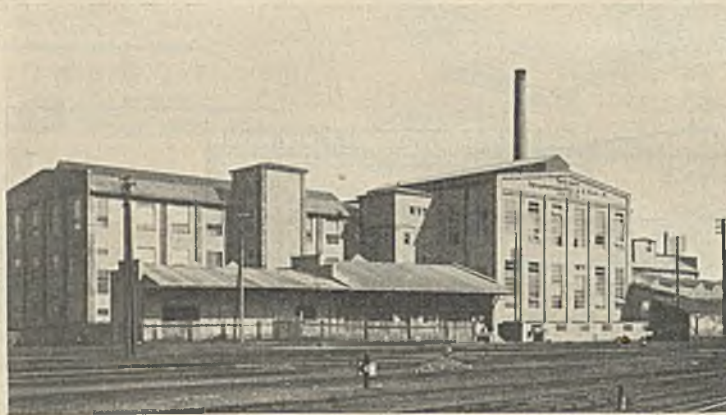


Abb. 5. Ansicht der Schneide- und Maschinenhalle.

Verschiedenes.

Wie spart man Prozeßkosten? Wer wird im Zeitalter der allgemeinen Wirtschaftsnot nicht an Prozeßkosten zu sparen trachten? Auf kaum einem Gebiet aber ist das so leicht und lohnend und dennoch zugleich so unbekannt, wie in dem ach so dicht bevölkerten Landstrich, wo die Zivilprozeßparteien wohnen.

Zunächst die Vorschußpflicht: An sich gibt es Zahlbefehl oder Termin erst nach Zahlung der Gebühr. Sie entfällt aber, 1. wenn sie dem Kläger Schwierigkeiten bereitet, z. B. sein Hauswesen oder Geschäft benachteiligt, oder 2. wenn er durch Verzögerung schwer ersetzbaren Schaden leiden würde, z. B. Verjährung droht oder der Gegner ist im fortschreitenden Vermögensverfall oder will ins Ausland. Nachweis wird nicht erfordert: „Glaubhaftmachung“ genügt, im Fall 2 sogar eine „Erklärung“ des prozeßbevollmächtigten Anwalts, was fast ganz unbekannt ist. Der besondere Wert liegt in der sofortigen Terminbestimmung und dem meist raschen Versäumnis- oder Anerkenntnisurteil.

Keine Vorschußpflicht besteht beim Arbeitsgericht, ferner bei Arresten und einstweiligen Verfügungen. Diese Schnellmaßnahmen empfehlen sich zudem wegen ihrer sichernden, oft eine Klage entbehrlich machenden Wirkung.

Gebühren entfallen überhaupt bei Rücknahme der Klage vor Terminbestimmung, des Zahlbefehls vor dessen Erlaß. Bei Vergleich, Versäumnis- oder Anerkenntnisurteil entfällt die gerichtliche Urteilsgebühr. Bei Klagerücknahme nach Terminbestimmung, aber vor der Verhandlung beträgt die Prozeßgebühr ein Viertel.

Ein wichtiges, fast nie angewandtes Mittel ist die Beachtung der Stufen. Die unterste Grenze ist 20 RM. Ein Pfennig mehr, und die Gebühr springt bis zur folgenden (60 RM) aufs Doppelte: die einfache Gerichtsgebühr von 1 auf 2 RM, die einfache Anwaltsgebühr von 2 auf 4 RM. Besonders bei höheren Streitwerten wirkt sich das empfindlich aus. Wer z. B. 201 RM einklagt, zahlt an Gerichtsgebühren vor Terminbestimmung eine halbe Gebühr = 4,50 RM, vor Erteilung des Versäumnisurteils nochmals diesen Betrag. Bei Beschränkung der Klage auf den „Teilbetrag“ von 200 RM hätten die beiden Gebühren zusammen nur 6 RM ausgemacht. Die Anwaltsgebühr, die bei glattstem Verlauf bei 200 RM Streitwert 15 RM ausmacht, beträgt bei 201 RM schon insgesamt 22,50 RM. Die eine Mark macht also hier schon einen Gebührenunterschied von 10,50 RM aus.

Nur wer des eigenen Sieges und der Zahlungsfähigkeit des Gegners gewiß ist, braucht sich solcher Sparsamkeit in bezug auf Kriegskosten nicht zu befleißigen. Sonst hüte man sich vor geringer Überschreitung der Stufen, zumal der Restanspruch fortbesteht und meist ohne neue Klage gezahlt wird. Amtsgerichtsrat Dr. Karl-Ludwig Schimmelbusch.

INHALT: Geheimrat A. Hertwig 60 Jahre alt. — Berechnung eines tangential und elastisch gestützten geschlossenen Stabringes. — Tafelglasfabrik nach dem Fourcault-Ziehverfahren in Weiden (Oberpfalz). — Verschiedenes: Wie spart man Prozeßkosten?

Für die Schriftleitung verantwortlich: Geh. Regierungsrat Prof. A. Hertwig, Berlin-Charlottenburg. Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin W 8. Druck der Buchdruckerei Gebrüder Ernst, Berlin SW 68.