Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 87 (1969)
Heft: 30

Artikel: Beitrag zur Ermittlung der Traglast von Scheibensystemen
Autor: Rosman, Riko
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-70741

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 14.07.2025

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

HERAUSGEGEBEN VON DER VERLAGS-AKTIENGESELLSCHAFT DER AKADEMISCHEN TECHNISCHEN VEREINE, 8021 ZÜRICH, POSTFACH 630

Beitrag zur Ermittlung der Traglast von Scheibensystemen

DK 624.074.4

Von Prof. Dr.-Ing. **Riko Rosman**, Zagreb

1. Aufgabenstellung

Es wird ein plastizitätstheoretisches Verfahren zur Untersuchung von Scheibensystemen aus untereinander gekoppelten, vollen und gegliederten Scheiben entwickelt.

Bild 1 zeigt die Ansicht eines Scheibensystems aus beispielsweise zwei vollen Scheiben, zwei verschiedenen gegliederten Scheiben mit je einer Öffnungsspalte und einer gegliederten Scheibe mit zwei Öffnungsspalten. (Unter dem Ausdruck «gegliederte Scheibe» sind zu verstehen Scheiben mit Öffnungsspalten, also – konstruktiv gesehen – Wände mit Tür- oder Fensteröffnungen.) Die Riegel der gegliederten Scheiben sind, wie üblich, durch in unendlich kleinen Abständen angeordnete Lamellen ersetzt. Die einzelnen Scheiben sind durch starre Pendellamellen miteinander gekoppelt. So ein Scheibensystem stellt das statische Schema der lotrechten Tragkonstruktion eines im Grundriss symmetrischen Hochbaues dar, wobei die einzelnen Scheiben, da Torsion nicht auftritt, in einer Ebene dargestellt werden konnten. Jede der Scheiben sei lotrecht und das Scheibensystem als ganzes parallel zu seiner Symmetrieebene waagrecht belastet.

Bild 2 zeigt den Querschnitt eines aus vier gegliederten Scheiben zusammengesetzten rechteckigen Rohres; es findet beispielsweise als Kern bei Hochbauten Anwendung. Die einzelnen Scheiben sind durch Querschotten (Decken) miteinander verbunden, so dass bei der Formänderung des Rohres seine Querschnittsform gewahrt bleibt. Jede der Scheiben sei durch eine exzentrische lotrechte Last und das Rohr als ganzes durch eine Drehlast beansprucht. Der Rohrquerschnitt und die lotrechte Last sind zweifach symmetrisch.

Die Querschnitte der vollen Scheiben und der Stützen werden als rechteckig und längs der Systemhöhe konstant, der Baustoff als homogen isotrop und elastischidealplastisch angenommen. Da die Höhe der vollen Scheiben und Stützen der gegliederten Scheiben gross ist im Vergleich zu ihren Querschnittsabmessungen, werden sie als Stäbe behandelt. Lotrechte Lasten seien längs der Systemhöhe gleichmässig, Quer- bzw. Drehlasten beliebig linear verteilt. Die Untersuchung wird nach der *Mechanismus-Methode* [1] durchgeführt.

Im allgemeinen kann das Versagen des Systems durch die Bildung eines der beiden Bruchmechanismen gemäss Bild 3 erfolgen, wobei einfachheitshalber nur ein lotrechter Ausschnitt des Systems dargestellt ist, beispielsweise nach Bild 1 die Stütze 7 samt den beidseitig angeschlossenen Lamellen. Ist die Steifheit der vollen Scheiben und der Stützen der gegliederten Scheiben wesentlich grösser als die der Riegel der gegliederten Scheiben, was im Bauwesen normalerweise zutrifft, kommt der Mechanismus gemäss Bild 3b nicht in Frage. Im allgemeinen ist ausser der Bildung der Mechanismen gemäss Bild 3 noch die Bildung eines Mechanismus möglich, bei dem sich die Einspannquerschnitte der gegliederten Scheiben monolithisch plastifi-

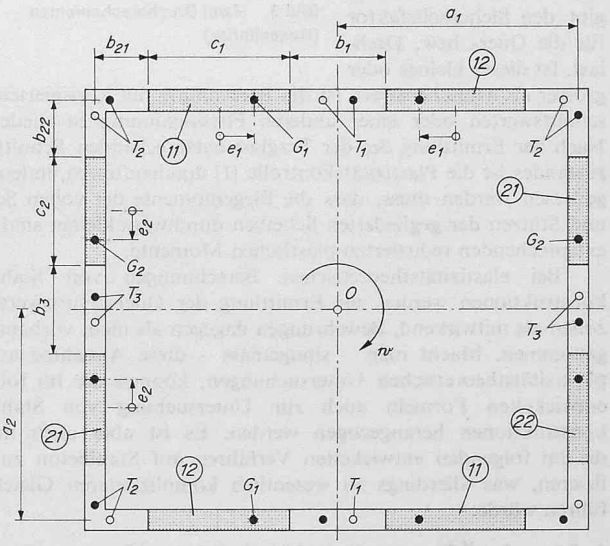

Bild 2. Querschnitt eines gegliederten rechteckigen Rohres
●: nach unten wirkende Kraft
○: nach oben wirkende Kraft

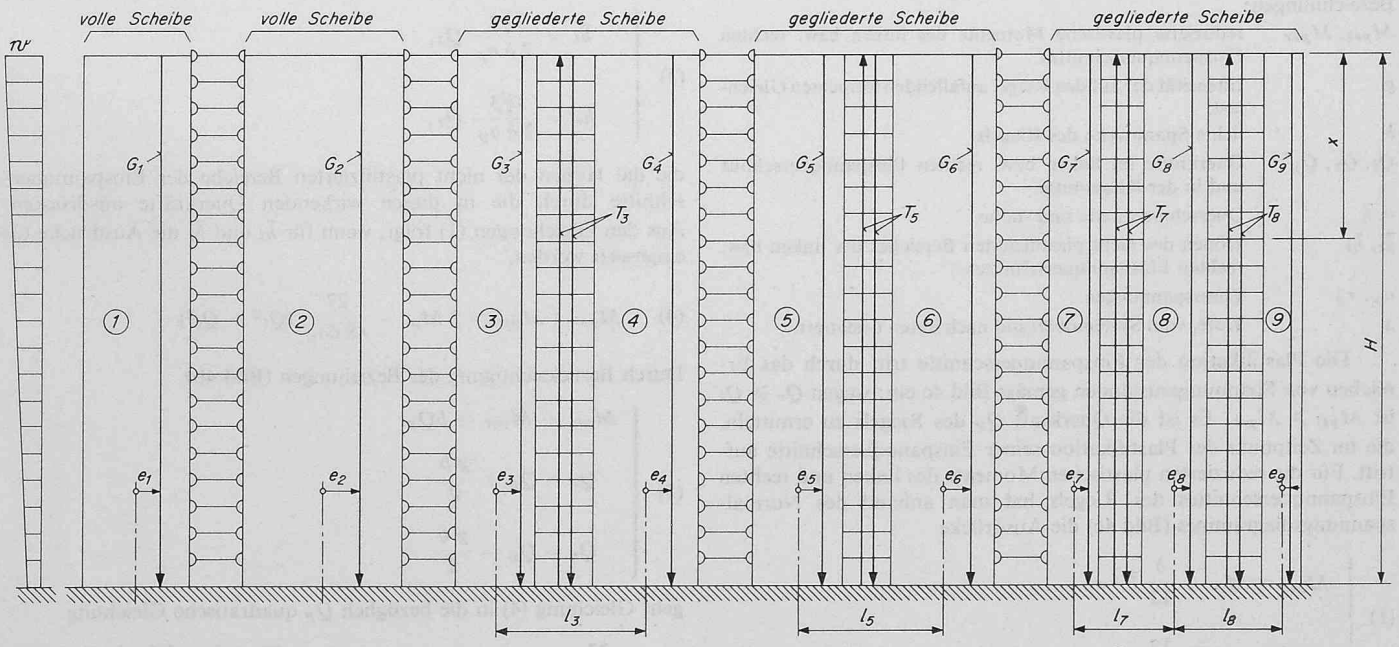

Bild 1. Ansicht eines Scheibensystems aus zwei vollen und drei gegliederten Scheiben samt Lasten und den längs der Öffnungsspalten wirkenden Schubkräften

zieren, die Bruchfigur entspricht sonst jener von Bild 3a. Dieser Mechanismus kann sich nur bei ausserordentlich steifen Riegeln einstellen, wie sie in der Praxis kaum auftreten. Der Ermittlung der Quertraglast wird daher der Bruchmechanismus gemäss Bild 3a zugrunde gelegt.

Die mit dem Sicherheitsfaktor vervielfältigten lotrechten Lasten werden in die Berechnung als bekannt eingeführt. Die Untersuchung führt dann zu Formeln für die Intensität am Systemoberrand der Quer- bzw. Drehtraglast. Diese Intensität durch die Intensität der entsprechenden Normlast dividiert, ergibt den Sicherheitsfaktor für die Quer- bzw. Drehlast. Ist dieser kleiner oder grösser als wünschenswert, ist die Berechnung mit korrigierten Querschnittswerten oder einer anderen Fliessspannung zu wiederholen. Nach der Ermittlung des der Traglast entsprechenden Schnittkräftezustandes ist die Plastizitätskontrolle [1] durchzuführen, indem nachgewiesen werden muss, dass die Biegemomente der vollen Scheiben und Stützen der gegliederten Scheiben durchwegs kleiner sind als die entsprechenden reduzierten plastischen Momente.

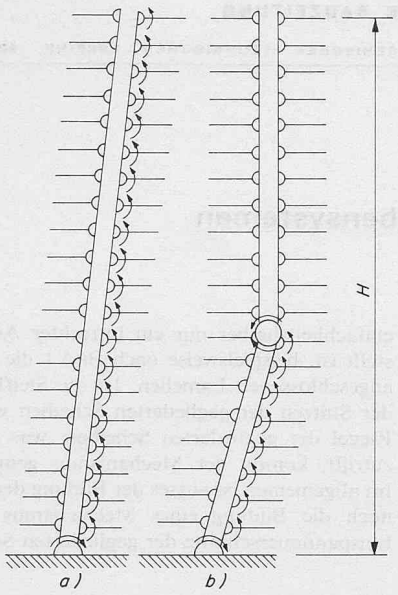

Bild 3. Zwei Bruchmechanismen (Ausschnitte)

Bei elastizitätstheoretischen Berechnungen von Stahlbetonkonstruktionen werden zur Ermittlung der Querschnittswerte Zugzonen als mitwirkend, Bewehrungen dagegen als nicht vorhanden angenommen. Macht man – sinngemäss – diese Annahme auch bei plastizitätstheoretischen Untersuchungen, können die im folgenden entwickelten Formeln auch zur Untersuchung von Stahlbetonkonstruktionen herangezogen werden. Es ist aber auch möglich, die im folgenden entwickelten Verfahren auf Stahlbeton zu modifizieren, was allerdings zu wesentlich komplizierteren Gleichungen führen würde.

2. Längs der Öffnungsspalten wirkende Schubkräfte

Bild 4 zeigt einen Riegel einer gegliederten Scheibe samt Last, den Biegemoment- und Querkraftdiagrammen und den Querschnitt des Riegels mit den Normal- und Schubspannungsdiagrammen seiner Einspannquerschnitte.

Bezeichnungen:

M_{psl}, M_{psr}	reduzierte plastische Momente des linken bzw. rechten Einspannquerschnittes.
g	Intensität der auf den Riegel anfallenden lotrechten Gleichlast.
b	lichte Spannweite des Riegels.
Q_l, Q_r, Q_p	Querkräfte im linken bzw. rechten Einspannquerschnitt und in der Riegelmitte.
δ, $\bar{h}$	Querschnittsbreite und -höhe.
$\bar{h}_l$, $\bar{h}_r$	Höhen des nicht plastifizierten Bereiches des linken bzw. rechten Einspannquerschnittes.
σ_p, τ_p	Fliessspannungen.
x	Kote, vom Systemoberrand nach unten orientiert.

Die Plastifikation der Einspannquerschnitte tritt durch das Erreichen von Spannungszuständen gemäss Bild 4c ein; wegen $Q_r \geqslant Q_l$ ist $M_{psl} \geqslant M_{psr}$. Es ist die Querkraft Q_p des Riegels zu ermitteln, die im Zeitpunkt der Plastifikation seiner Einspannquerschnitte auftritt. Für die reduzierten plastischen Momente des linken und rechten Einspannquerschnittes des Riegels hat man anhand des Normalspannungsdiagrammes (Bild 4c) die Ausdrücke

$$(1)\quad \begin{cases} M_{psl} = M_p - \dfrac{\delta}{12}\,\bar{h}_l^2\,\sigma_p \\[2ex] M_{psr} = M_p - \dfrac{12}{\delta}\,\bar{h}_r^2\,\sigma_p \end{cases}$$

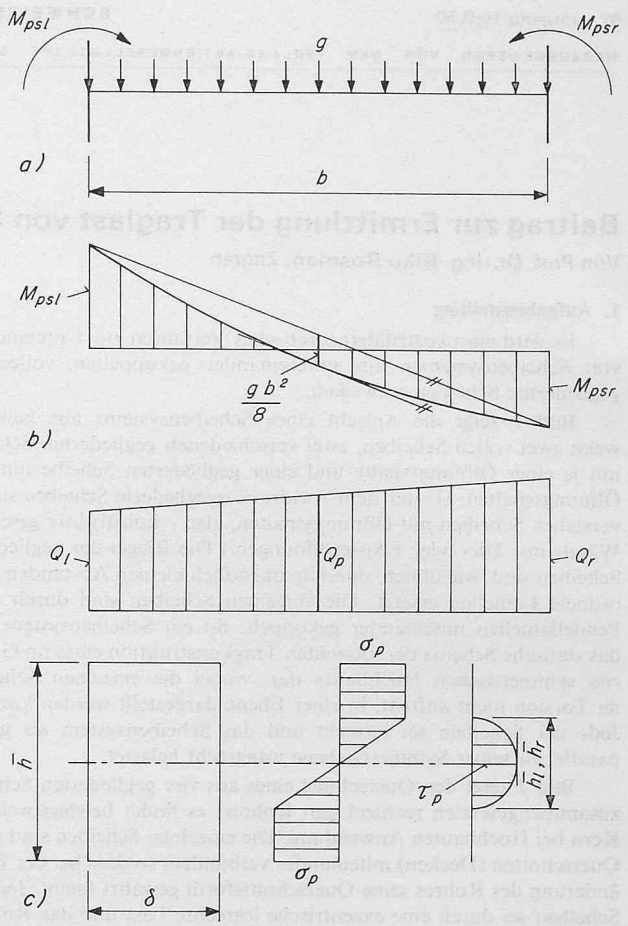

Bild 4. a) Riegel einer gegliederten Scheibe samt Last
b) Diagramme des Biegemomentes und der Querkraft
c) Querschnitt und Diagramme der Normal- und Schubspannungen der Einspannquerschnitte

mit

$$(2)\quad M_p = \frac{\delta}{4}\,\bar{h}^2\,\sigma_p$$

als plastischem Moment des Riegels. Mit $\tau_p = \sigma_p/\sqrt{3}$ gemäss der Misesschen Fliessbedingung folgen aus dem Schubspannungsdiagramm (Bild 4c) die Beziehungen

$$(3)\quad \begin{cases} \bar{h}_l = \dfrac{3\sqrt{3}}{2\,\delta\,\sigma_p}\,Q_l, \\[2ex] \bar{h}_r = \dfrac{3\sqrt{3}}{2\,\delta\,\sigma_p}\,Q_r, \end{cases}$$

die die Höhen der nicht plastifizierten Bereiche der Einspannquerschnitte durch die in diesen wirkenden Querkräfte ausdrücken. Aus den Gleichungen (1) folgt, wenn für $\bar{h}_l$ und $\bar{h}_r$ die Ausdrücke (3) eingesetzt werden,

$$(4)\quad M_{psl} + M_{psr} = 2\,M_p - \frac{27}{48\,\delta\sigma_p}\,(Q_l^2 + Q_r^2)$$

Durch Berücksichtigung der Beziehungen (Bild 4b)

$$(5)\quad \begin{cases} M_{psl} + M_{psr} = bQ_p \\[2ex] Q_l = Q_p + \dfrac{g\,b}{2} \\[2ex] Q_r = Q_p - \dfrac{g\,b}{2} \end{cases}$$

geht Gleichung (4) in die bezüglich Q_p quadratische Gleichung

$$(6)\quad \frac{27}{24\,\delta\,\sigma_p}\,Q_p^2 + b\,Q_p - 2\,M_p + \frac{27}{24\,\delta\,\sigma_p}\left(\frac{g\,p}{2}\right)^2 = 0$$

über. Ihre Lösung ergibt sich, indem für M_p der Ausdruck (2) eingesetzt wird, zu

$$(7) \qquad Q_p = \left(\sqrt{1 + \left(\frac{3\,\bar{h}}{2\,b}\right)^2 - \left(\frac{9\,g}{8\,\delta\,\sigma_p}\right)^2} - 1\right) \frac{4}{9}\,\delta\,b\,\sigma_p\,.$$

Sind die Riegel nicht lotrecht belastet ($g = 0$) oder ist diese Last klein, so dass ihr Einfluss auf die Riegel vernachlässigt werden kann, entfällt im Wurzelausdruck der Formel (7) das dritte Glied. Entwickelt man dann den Wurzelausdruck in eine Reihe und berücksichtigt dabei die ersten drei Glieder, erhält man die normalerweise ausreichend genaue Näherungsformel

$$(8) \qquad Q_p = \left[1 - \frac{9}{16}\left(\frac{\bar{h}}{b}\right)^2\right] \frac{2\,M_p}{b}$$

für die Riegelquerkraft.

Der Herleitung der Formel (7) lag die Plastifikation der Riegeleinspannquerschnitte gemäss Bild 4c zugrunde. Bei im Verhältnis zu ihrer Spannweite sehr hohen Riegeln kann der Kollaps hingegen durch reine Schubplastifikation erfolgen; die entsprechende Querkraft beträgt

$$(9) \qquad Q_p = \delta\,\bar{h}\,\frac{\sigma_p}{\sqrt{3}}\,.$$

Durch Gleichsetzen der beiden Ausdrücke (7) und (9) für Q_p, wobei in (7) $g = 0$ gesetzt wird, ergibt sich das Grenzverhältnis $\bar{h}/b = 8/\sqrt{3} = 4{,}62$. Für $\bar{h}/b \leqslant 4{,}62$, also für alle praktisch vorkommenden Fälle, ist hiermit die Formel (7) bzw. (8) für die Riegelquerkraft massgebend. Der Öffnungsspalte zwischen den Stützen k und $k + 1$ einer gegliederten Scheibe wird die Ordnungszahl k zugeteilt und die Querkraft eines Riegels dieser Öffnungsspalte dementsprechend mit Q_{kp} bezeichnet. Die längs dieser Öffnungsspalte wirkende Schubkraft T_k ist – für jede beliebige Kote x – der Summe der Querkräfte sämtlicher oberhalb dieser Kote sich befindenden Riegel gleich. Durch Einführung des längs der Öffnungsspalte wirkenden Schubflusses

$$(10) \qquad T'_{kp} = \frac{Q_{kp}}{h}$$

wird, wenn Q_{kp} und hiermit T'_{kp} längs der Systemhöhe konstant sind,

$$(11) \qquad T_{kx} = T'_{kp}\,x$$

Längs der Öffnungsspalten wirkende Schubkräfte seien positiv, wenn sie Biegemomente erzeugen, die jenen aus der Last entgegenwirken, also diese abbauen.

3. Reduzierte plastische Momente der Einspannquerschnitte der vollen Scheiben und Stützen der gegliederten Scheiben

Die Querschnitte der vollen Scheiben und Stützen der gegliederten Scheiben sind durch Biegemomente und Längskräfte beansprucht. Im Zeitpunkt des Kollapses, also der Bildung des Bruchmechanismuses gemäss Bild 3a, sind die im Einspannquerschnitt ($x = H$) der vollen Scheibe bzw. Stütze der gegliederten Scheibe k wirkenden Schnittkräfte M_{kHpn} und N_{kH} durch die Interaktionsgleichung [1]

$$(12) \qquad \frac{M_{kHpn}}{M_{kp}} + \left(\frac{N_{kH}}{N_{kp}}\right)^2 = 1$$

verknüpft. Die Bedeutung der Bezeichnungen ist folgende:

k	Ordnungszahl	der vollen Scheibe bzw. Stütze der gegliederten Scheibe k
M_{kHpn}, N_{kH}	reduziertes plastisches Moment und Längskraft	am Systemunterrand
G_{kH}	lotrechte Last	am Systemunterrand
M_{kp}, N_{kp}	plastisches Moment und Axialfliesslast	der vollen Scheibe bzw. Stütze der gegliederten Scheibe k
F_k, c_k, σ_{kp}	Querschnittfläche und -höhe und Fliessspannung	der vollen Scheibe bzw. Stütze der gegliederten Scheibe k
g_k, e_k	Intensität und Exzentrizität der lotrechten Last. (Bei der Ermittlung von g_k und e_k ist bei Stützen von gegliederten Scheiben auch der Einfluss der auf die Riegel anfallenden Last zu berücksichtigen.)	der vollen Scheibe bzw. Stütze der gegliederten Scheibe k
w_p, $\mathfrak{M}_{pH}$	Intensität am Systemoberrand der Quertraglast und Kragträgermoment am Systemunterrand aus dieser Last.	
l_k	Achsabstand der Stützen k und $k + 1$ einer gegliederten Scheibe.	

Die Lösung der Interaktionsgleichung (12) nach M_{kHpn} ergibt die Formel

$$(13) \quad M_{kHpn} = \left[1 - \left(\frac{N_{kH}}{N_{kp}}\right)^2\right] M_{kp}$$

für das reduzierte plastische Moment des Einspannquerschnittes der vollen Scheibe oder Stütze der gegliederten Scheibe k. Das plastische Moment und die Axialfliesslast sind durch die Formeln

$$(14) \qquad M_{kp} = \frac{F_k\,c_k}{4}\,\sigma_{kp}$$

$$(15) \qquad N_{kp} = F_k\,\sigma_{kp}$$

gegeben.

Die Längskräfte N_{kH} setzen sich aus Beiträgen der lotrechten Last und der Schubkräfte der Nachbaröffnungsspalten zusammen:

$$(16) \quad \begin{cases} N_{1H} = G_{1H}, & N_{2H} = G_{2H}, \\ N_{3H} = G_{3H} - T_{3H}, & N_{4H} = G_{4H} + T_{3H}, \\ N_{5H} = G_{5H} - T_{5H}, & N_{6H} = G_{6H} + T_{5H}, \\ N_{7H} = G_{7H} - T_{7H}, & N_{9H} = G_{9H} + T_{8H}, \\ N_{8H} = G_{8H} + T_{7H} - T_{8H}. \end{cases}$$

Vorzeichen: Biegemomente sind positiv, wenn sie an der linken Seite der betrachteten Scheibe oder Stütze Zugspannungen erzeugen. Längskräfte sind als Druckkräfte positiv. Exzentrizititäten sind nach rechts positiv.

4. Die Traglast

4.1 Scheibensysteme gemäss Bild 1

Das Kragträgermoment am Systemunterrand aus der waagrechten und lotrechten Traglast beträgt

$$(17) \quad \mathfrak{M}_{pH} = \frac{w_p\,H^2}{\varkappa} + \sum_k G_{kH}\,e_k\,;$$

für waagrechte Gleichlast, Trapezlast ($w_{unten} = 1/2\,w_{oben}$) und Dreiecklast ($w_{unten} = 0$) ist $\varkappa$ gleich 2, 2,5 bzw. 3.

Die Summe der reduzierten plastischen Momente am Systemunterrand muss der Differenz des Kragträgermomentes $\mathfrak{M}_{pH}$ und des aus den Schubkräften der Öffnungsspalten sich ergebenden Momentes gleich sein. Hiermit ist

$$(18) \quad \mathfrak{M}_{pH} = \sum_k M_{kHpn} + \sum_k T_{kH}\,l_k\,.$$

Durch Gleichsetzen der beiden Ausdrücke (17) und (18) für $\mathfrak{M}_{pH}$ und Auflösung der so erhaltenen Gleichung nach w_p erhält man die Formel

$$(19) \qquad w_p = \frac{\varkappa}{H^2}\left(\sum_k M_{kHpn} + \sum_k T_{kH}\,l_k - \sum_k G_{kH}\,e_k\right)$$

für die Intensität der waagrechten Traglast am Systemoberrand. Die Summenzeichen des ersten und dritten Gliedes im Klammerausdruck der Gleichung (19) erstrecken sich auf sämtliche volle Scheiben und Stützen der gegliederten Scheiben ($k = 1$ bis 9 im Falle des Scheibensystems gemäss Bild 1) und das des zweiten Gliedes auf sämtliche Öffnungsspalten sämtlicher gegliederter Scheiben ($k = 3, 5, 7, 8$ im Falle des Scheibensystems gemäss Bild 1).

Das Gesamtmoment M des Scheibensystems an einer beliebigen Kote x, als Summe der Biegemomente sämtlicher vollen Scheiben und Stützen der gegliederten Scheiben an der betrachteten Kote definiert, hat seinen Maximal- und zugleich Extremwert am Systemunterrand: $M_{max} = \sum_k M_{kHpn}$.

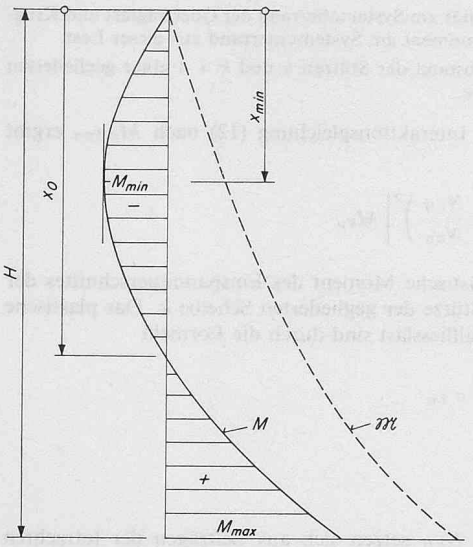

Bild 5. Diagramm des Gesamtmomentes bzw. Gesamtbimomentes

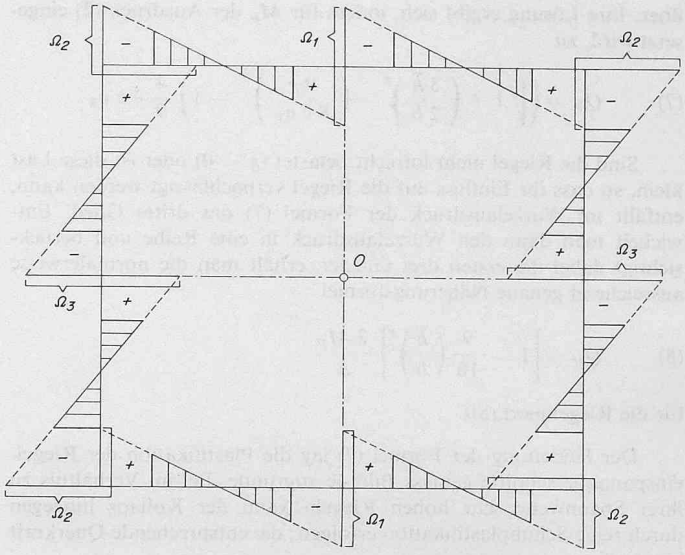

Bild 6. Diagramm der sektoriellen Koordinate des Rohrquerschnittes gemäss Bild 2

Der Minimalwert des Gesamtmomentes tritt an der durch die Bedingung $dM/dx = 0$ bestimmten Kote x_{min} auf. Das Gesamtmoment hat zwei Nullpunkte, und zwar an den durch die Gleichung $M = 0$ bestimmten Stellen: am Systemoberrand ($x = 0$) und an der Kote x_0 irgendwo im mittleren Bereich der Systemhöhe. Für den Fall Gleichlast ergibt sich

$$(20) \quad x_{min} = \frac{w_p}{1}\left(\sum_k T'_{kp}\, l_k - \sum_k g_k\, e_k\right),$$

$$(21) \quad M_{min} = -\frac{w_p}{2}\, x_{min}^2,$$

$$(22) \quad x_0 = 2\, x_{min}.$$

Bild 5 zeigt qualitativ das Diagramm des Gesamtmomentes. Ausser an der Kote der plastischen Gelenke am Systemunterrand teilt es sich auf die einzelnen vollen Scheiben und Stützen der gegliederten Scheiben im Verhältnis ihrer Trägheitsmomente auf [2].

4.2 Das gegliederte Rohr (Bild 2)

Die Bedeutung der Bezeichnungen ist aus Bild 2 ersichtlich. Mit w_p sei die Intensität am Systemoberrand der Drehtraglast (im Uhrzeigerdrehsinn positiv), mit $\mathfrak{M}_{pH}$ das Kragträgerbimoment am Systemunterrand aus dieser Last bezeichnet. Die Längskräfte der Stützen am Systemunterrand setzen sich aus Beiträgen der lotrechten Last und der Schubkräfte der Nachbaröffnungsspalten zusammen:

$$(23) \quad \begin{cases} N_{11H} = G_{1H} - T_{1H} + T_{2H}, \; N_{12H} = G_{1H} + T_{1H} - T_{2H} \\ N_{21H} = G_{2H} + T_{2H} - T_{3H}, \; N_{22H} = G_{2H} - T_{2H} + T_{3H}. \end{cases}$$

Die plastischen Bimomente [Mpm^2] einer Stütze 1 bzw. 2 erhält man durch Multiplikation des entsprechenden plastischen Bimomentes mit der Entfernung der Stütze von der Rohrachse:

$$(24) \quad \begin{cases} M_{1p} = \dfrac{F_1\, c_1}{4}\, a_2\, \sigma_p, \\ M_{2p} = \dfrac{F_2\, c_2}{4}\, a_1\, \sigma_p. \end{cases}$$

Da das Verhältnis des reduzierten plastischen Bimomentes zum plastischen Bimoment dem Verhältnis des reduzierten plastischen Momentes zum plastischen Moment gleich ist, behält die Interaktionsgleichung (12) auch hier Gültigkeit. Für die reduzierten plastischen Bimomente gilt daher Formel (13).

Bild 6 zeigt das Diagramm der sektoriellen Koordinate [m^2] des Rohrquerschnittes bezüglich des Drehpoles 0. Nach den Regeln der Theorie der dünnwandigen Stäbe [3] erhält man

$$(25) \quad \begin{cases} \Omega_1 = (b_1 + c_1)\, a_2 \\ \Omega_2 = \left(\dfrac{c_1}{2} + b_{21}\right) a_2 + \left(\dfrac{c_2}{2} + b_{22}\right) a_1 \\ \Omega_3 = (b_3 + c_2)\, a_1 \end{cases}$$

Das sektorielle Trägheitsmoment [m^6] einer Stütze 1 ist dem a_2-fachen Trägheitsmoment dieser Stütze, das sektorielle Trägheitsmoment einer Stütze 2 dem a_1-fachen Trägheitsmoment dieser Stütze gleich.

Die Kragträgerbimomente aus den lotrechten Lasten heben sich gegenseitig auf; das Kragträgerbimoment am Systemunterrand aus der Traglast beträgt daher

$$(26) \quad \mathfrak{M}_{pH} = \frac{w_p\, H^2}{\varkappa},$$

wobei für den dimensionslosen Faktor $\varkappa$ wieder die im Abschnitt 4.1 angegebenen Zahlenwerte gelten.

Die Summe der reduzierten plastischen Bimomente am Systemunterrand muss der Differenz des Kragträgerbimomentes $\mathfrak{M}_{pH}$ und des aus den Schubkräften der Öffnungsspalten sich ergebenden Bimomentes gleich sein. Hiermit ist

$$(27) \quad \mathfrak{M}_{pH} = 2\,(M_{11Hpn} + M_{12Hpn} + M_{21Hpn} + M_{22Hpn} + \Omega_1\, T_{1H} + 2\,\Omega_2\, T_{2H} + \Omega_3\, T_{3H}).$$

Durch Gleichsetzen der beiden Ausdrücke (26) und (27) für $\mathfrak{M}_{pH}$ und Auflösen der so erhaltenen Gleichung nach w_p erhält man, unter Berücksichtigung des Ausdruckes (13) für die reduzierten plastischen Bimomente und der Ausdrücke (23) für die Längskräfte der Stützen, die Formel

$$(28) \quad w_p = \frac{4\,\varkappa}{H^2}\left[\left(1 - \frac{G_{1H}^2 + T_{1H}^2 + T_{2H}^2 - 2\, T_{1H}\, T_{2H}}{N_{1p}^2}\right) M_{1p} + \left(1 - \frac{G_{2H}^2 + T_{2H}^2 + T_{3H}^2 - 2\, T_{2H}\, T_{3H}}{N_{2p}^2}\right) M_{2p} + \frac{\Omega_1}{2}\, T_{1H} + \Omega_2\, T_{2H} + \frac{\Omega_3}{2}\, T_{3H}\right]$$

für die Intensität der Drehtraglast am Systemoberrand.

Das Gesamtbimoment M des Rohres an einer beliebigen Kote x, als Summe der Beiträge sämtlicher 8 Stützen des Rohres definiert, hat seinen Maximal- und zugleich Extremwert am Systemunterrand: $M_{max} = 2\,(M_{11Hpn} + M_{12Hpn} + M_{21Hpn} + M_{22Hpn})$. Der Minimalwert des Gesamtbimomentes tritt an der durch die Bedingung $dM/dx = 0$ bestimmten Kote x_{min} auf. Das Gesamtbimoment hat zwei Nullpunkte, und zwar an den durch die Gleichung $M = 0$ bestimmten

Stellen: am Systemoberrand und an der Kote x_0 irgendwo im mittleren Bereich der Systemhöhe. Ist die Intensität der Drehlast längs der Systemhöhe konstant, wird

$$(29) \quad x_{min} = \frac{2}{w_p} (\Omega_1 T'_{1p} + 2\,\Omega_2 T'_{2p} + \Omega_3 T'_{3p}),$$

$$(30) \quad M_{min} = -\frac{w_p}{2} x_{min}^2,$$

$$(31) \quad x_0 = 2\,x_{min}.$$

Im Sonderfall $T_1 = T_2 = T_3 = T$ und $G_1 = G_2 = 0$ vereinfacht sich die Formel (28) für die Intensität am Systemoberrand der Drehtraglast zu

$$(32) \quad w_p = \frac{4\,\varkappa}{H^2} (M_{p1} + M_{p2} + 2\,a_1\,a_2\,T_H);$$

dabei stellt der Multiplikator $8\,a_1\,a_2$ die zweifache Grösse der durch die Querschnittsmittellinien der vier Scheiben eingeschlossenen Fläche dar.

Bild 5 zeigt qualitativ das Diagramm des Gesamtbimomentes; ausser am Systemunterrand teilt es sich auf die einzelnen Stützen proportional ihren sektoriellen Trägheitsmomenten auf.

Literatur:

[1] *Thürlimann, B., Ziegler, H.:* Plastische Berechnungsmethoden, ETH Zürich, 1963.

[2] *Rosman, R.:* Statik und Dynamik der Scheibensysteme des Hochbaues, «Springer-Verlag», Berlin, 1968.

[3] *Kollbrunner, C. F., Basler, K.:* Torsion, «Springer-Verlag», Berlin, 1966.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr.-Ing. *Riko Rosman,* Pantovčak 135, Zagreb, YU.

Die Schweiz und die Atomenergie im Jahre 1968

DK 621.039

1. Atomare Stromerzeugung

Das Jahr 1968 brachte auf dem Gebiet der Atomenergie und Kerntechnik keine spektakulären Ereignisse. Ein Bericht der zehn grössten Elektrizitätsgesellschaften, der sich mit dem Ausbau der schweizerischen Elektrizitätsversorgung befasste, bestätigte erneut, dass die künftigen Elektrizitätsproduktionsanlagen unseres Landes hauptsächlich auf Atomenergie beruhen werden. Die Untersuchung kam zum Schluss, dass der schweizerische Bedarf an elektrischer Energie in der angenommenen Berichtsperiode, die 1975/76 endet, mit den bestehenden und in Bau befindlichen bzw. beschlossenen Produktionsanlagen gedeckt werden kann. Danach werde die zeitlich gestaffelte Inbetriebnahme weiterer Atomkraftwerke für die Deckung des Inlandbedarfes notwendig sein, sofern nicht eine stärkere Verbrauchszunahme als die angenommene (5,4%) oder andere triftige Gründe zu einer früheren Betriebsaufnahme führten.

In der Schweiz stehen drei kommerzielle Kernkraftwerke im Bau, *Beznau I* und *Beznau II* der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG (NOK), mit einer Leistung von je 350 MWe, sowie *Mühleberg* der Bernischen Kraftwerke AG, mit einer Kapazität von 306 MWe. Beznau I wird im Herbst 1969 den ersten kommerziellen Atomstrom der Schweiz liefern, im Jahre 1971 wird Mühleberg folgen, und Beznau II kommt 1972 in Betrieb. Die Erstellung aller drei Anlagen verlief im Berichtsjahr programmgemäss, so dass mit ihrer termingerechten Inbetriebnahme gerechnet werden kann. Von den weiteren schweizerischen Kernkraftwerksprojekten schien 1968 dasjenige von *Kaiseraugst* am raschesten vorangetrieben zu werden. Die Angebote für das nukleare und thermische Los gingen am 30. September vollzählig bei Motor-Columbus, Baden, ein. Am 4. Dezember 1968 haben die Partner des Studienkonsortiums Kaiseraugst (Electricité de France, Aare-Tessin Aktiengesellschaft für Elektrizität, Aluminium Suisse AG und Motor-Columbus AG für elektrische Unternehmungen) beschlossen, das Projekt auf Grund der günstigen technischen und wirtschaftlichen Ausgangslage, welche die Ausschreibung ergeben hatte, weiterzuverfolgen. Die technischen Organe wurden angewiesen, die Lage mit einer engeren Auswahl von Lieferanten zu bereinigen und Verhandlungen aufzunehmen. Die Elektro-Watt Elektrische und Industrielle Unternehmungen AG, Zürich, trieb ihre Vorarbeiten für das 600-MWe-Kernkraftwerk *Leibstadt,* welches in Partnerschaft mit der Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk AG (Essen) errichtet werden soll, derart voran, dass je nach der Entwicklung der schweizerischen Stromnachfrage 1971 mit dem Bau begonnen werden könnte. Die westschweizerischen Elektrizitätsgesellschaften verfolgten im Rahmen der S.A. l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS) die Einführung der Kernenergie weiter, wobei für ein erstes Projekt ein Standort bei Verbois an der Rhone unterhalb Genfs im Vordergrund stand. Schliesslich wurde bekannt, dass sich die Bernischen Kraftwerke AG durch den Erwerb von Grundstücken in der Gemeinde Graben (Amtsbezirk Wangen an der Aare) vorsorglich Land für ein zweites Atomkraftwerk mit Standort im Kanton Bern sichergestellt hat. Es ist am rechten Aareufer zwischen der Mündung der Oenz und dem Wasserkraftwerk Bannwil gelegen. Ein Bauprojekt liegt noch nicht vor, und der Zeitpunkt des Baubeginns ist unbestimmt.

2. Die Nuklear- und Komponentenindustrie

Die schweizerische Industrie hatte 1967 auf die Weiterentwicklung eines Schwerwasserreaktors verzichtet, nachdem man zum Schluss gekommen war, dass die zur Verfügung stehenden Mittel sowohl in finanzieller wie in personeller Hinsicht eine aussichtsreiche Entwicklung von Reaktoren eigener Konstruktion in der Schweiz nicht erlauben. Man hatte deshalb beschlossen, das Versuchskernkraftwerk Lucens, welches den Ausgangspunkt der Schwerwasserreaktor-Entwicklung dargestellt hatte, nach seiner Fertigstellung nur während der ersten Brennstoffladung, das heisst rund zwei Jahren, zu betreiben. In einem am 1. März 1968 zwischen der Nationalen Gesellschaft zur Förderung der industriellen Atomtechnik (NGA) und der S.A. l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS) unterzeichneten Vertrag verpflichtete sich die EOS, die Anlage während dieser Zeitperiode zu betreiben. Am 29. Januar 1968 war in Lucens der erste Atomstrom der Schweiz erzeugt worden, und Anfang Mai wurde das Versuchskernkraftwerk der EOS für den Betrieb übergeben. Im Verlaufe des weiteren Einsatzes von Lucens konnte im Berichtsjahr die volle projektierte Leistung von 30 MWth erreicht werden (bekanntlich ist sie seither und für immer auf 0 abgesunken).

Im Jahre 1968 setzten die schweizerischen Industriefirmen ihre Anstrengungen fort, sich als wichtige Lieferanten von Ausrüstungsteilen für Kernkraftwerke der ersten Generation zu etablieren, während im Hinblick auf fortgeschrittene Reaktorsysteme – vor allem der schnellen Brüter – verschiedene Möglichkeiten der internationalen Zusammenarbeit abgeklärt wurden.

Eine Klärung der Lage der schweizerischen auf dem Nuklearsektor tätigen Industrie und damit eine Stärkung ihrer internationalen Konkurrenzfähigkeit brachte die Anfang 1968 zwischen den beiden grössten Firmengruppen der schweizerischen Maschinenindustrie bekanntgegebene Vereinbarung, ihre Produktionsprogramme gegenseitig abzugrenzen. Die Firmen Brown Boveri/Maschinenfabrik Oerlikon und Gebrüder Sulzer/Escher Wyss haben durch diesen Schritt bisherige Doppelspurigkeiten ausgeschaltet. Neben ihrer eigenen Tätigkeit auf dem Atomgebiet werden sie auch ihre neu gegründete gemeinsame Tochtergesellschaft «Brown Boveri/Sulzer Turbomaschinen AG, Zürich» mit gewissen Aufgaben betrauen.

Die im Nuklearsektor tätigen schweizerischen Firmen arbeiteten 1968 wesentlich beim Bau der drei ersten kommerziellen Kernkraftwerke des Landes mit. Zahlreiche Schweizer Unternehmen liefern den weitaus grössten Teil der Ausrüstungen für Beznau I, II und Mühleberg. Daneben waren 1968 auch im Export von Komponenten für ausländische Nuklearanlagen wiederum einige erfreuliche Erfolge zu verzeichnen. Dass selbst hochindustrialisierte Länder wie die USA, Deutschland und Frankreich aus der Schweiz Ausrüstungsteile für ihre Kernkraftwerke beziehen, beweist, dass es verschiedenen Firmen gelungen ist, hinsichtlich Qualität und Preis den internationalen Standard zu erreichen. Aber nicht nur die Industrie, sondern auch die schweizerischen Ingenieurunternehmen haben sich im Nuklearsektor international schon eine beachtliche Stellung geschaffen; sie führen in Griechenland und der Türkei Vorstudien bzw. Projektierungsarbeiten für die ersten Kernkraftwerke dieser Länder durch.

Die Bemühungen um eine aktive Teilnahme an der Entwicklung fortgeschrittener Reaktoren wurden einerseits in Richtung auf den Hochtemperaturreaktor und anderseits bezüglich der schnellen Brüter vorangetrieben. Brown Boveri, Baden, wird die eigenen Arbeiten im Bereiche des Hochtemperaturreaktors mit der deutschen Brown