

**Zeitschrift:** IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht

**Band:** 9 (1972)

**Rubrik:** Theme IIIa: Cable and cable-suspended roofs

#### **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:** 16.02.2026

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

### **III**

## **Couvertures de grande portée Weitgespannte Dachkonstruktionen Long-Spanned Roofs**

### **III a**

## **Structures en câbles et structures suspendues Seilkonstruktionen und seilverspannte Konstruktionen Cable and Cable-Suspended Roofs**

**Leere Seite**  
**Blank page**  
**Page vide**

### IIIa

#### DISCUSSION LIBRE • FREIE DISKUSSION • FREE DISCUSSION

**Discussion of Structural Lattices with Particular Reference to the Paper  
by S. Shore and B. Chandari, entitled "Free Vibrations of Cable Networks"**

Discussion sur les treillages structurels, compte tenu en particulier de la contribution de S. Shore et B. Chandari, intitulée "Free Vibrations of Cable Networks"

Diskussion der Gitterwerkkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung des Beitrages von S. Shore und B. Chandari, betitelt "Free Vibrations of Cable Networks"

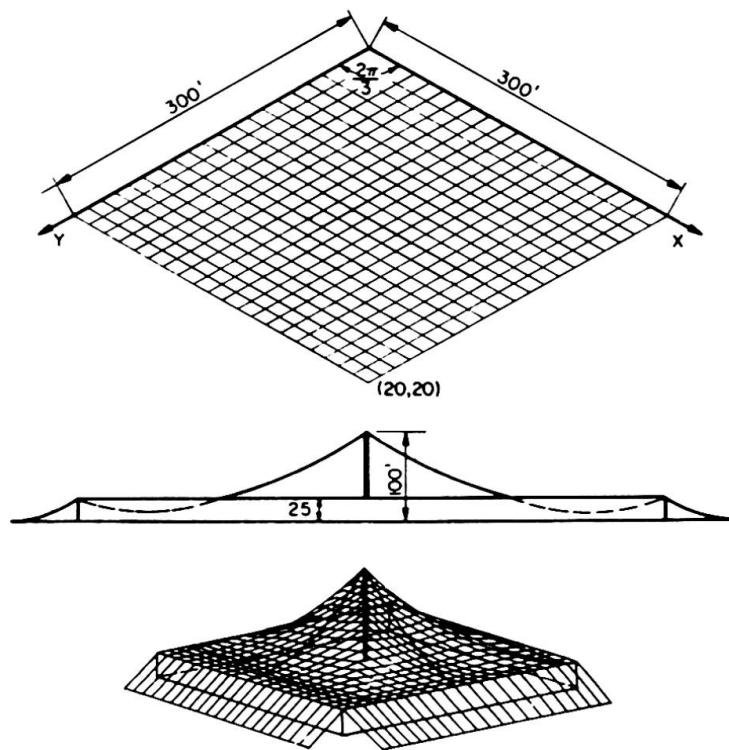
D.V. REDDY

Dr.-Ing.

Memorial University  
St. John's, Newfoundland  
Canada

I have a few comments to make regarding the analysis of 'Structural Lattices' with some reference to cable networks and grids discussed today. Structural systems with repetitive configurations and physical quantities with a definite sequential relation between them at regular intervals can be analysed by the Calculus of Finite Differences (1,2,3). The method, which is not to be confused with the numerical analysis of Finite Difference equations, is also useful in establishing the equivalence of interconnected cables to membranes and grids to plates (4).

A structural net analysed by Dean (5) is shown in Fig. 1.

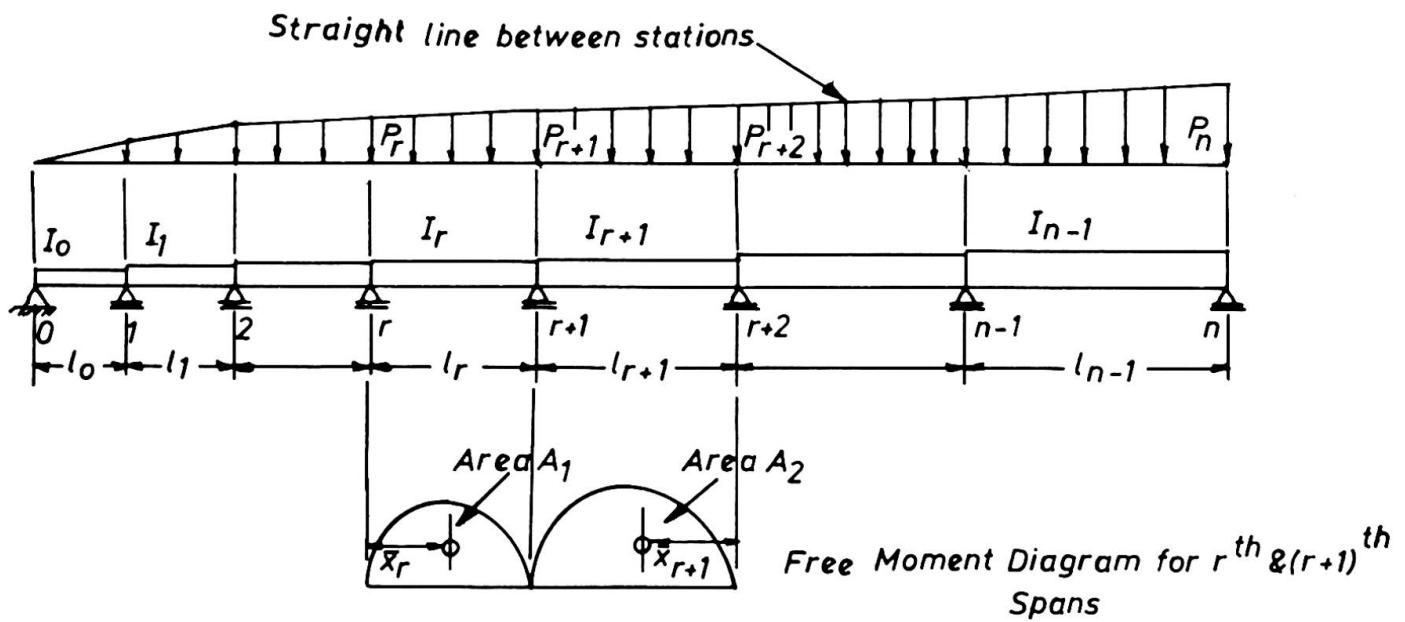


**Fig. 1** Doubly threaded structural net with centre pole  
From Dean (5)

The method can be illustrated by the following two examples:

#### Example 1

#### Support Moments of a Continuous Beam (Fig. 2)



**Fig. 2**

The general three-moment equation for the rth and (r+1)th spans is

$$\begin{aligned} M_{r+2} \left( \frac{\ell_{r+1}}{I_{r+1}} \right) + 2M_{r+1} \left( \frac{\ell_{r+1}}{I_{r+1}} + \frac{\ell_r}{I_r} \right) + M_r \left( \frac{\ell_r}{I_r} \right) \\ = - \frac{6 A_r \bar{x}_r}{\ell_r I_r} - \frac{6 A_{r+1} \bar{x}_{r+1}}{\ell_{r+1} I_{r+1}} \end{aligned} \quad (1)$$

Assuming that (i)  $\frac{\ell_r}{I_r} = k_1$ , a constant,  $r = 0, 1, 2, \dots, n-1$

$$(ii) \frac{\ell_r}{\ell_{r-1}} = k_2, \text{ a constant, } r = 1, 2, \dots, n-1$$

$$\text{and (iii) } P_r = P_n \left( \frac{r}{n} \right), r = 0, 1, 2, \dots, n$$

Eqn. (1) reduces to

$$M_{r+2} + 4M_{r+1} + M_r = \frac{1}{k_1 k_2 I_r} \left( \frac{-6 A_r \bar{x}_r k_2}{\ell_r} - \frac{6 A_{r+1} \bar{x}_{r+1}}{\ell_{r+1}} \right) \quad (2)$$

The above can be rewritten in terms of  $\ell_0$  and  $I_0$  as

$$(E^2 + 4E + 1) M_r = \frac{-P_n \ell_0^3 k_2^{2r}}{60_n I_0 k_1} \left[ 15r(1+k_2^2) + (22 k_2^2 + 8) \right] \quad (3)$$

Solving the above difference equation and applying the boundary conditions  $M_1 = M_n = 0$  gives

$$M_r = C \left[ D \beta^r + \left( \frac{\beta^{n+r} - \beta^{n-r}}{\beta^{2n} - 1} \right) (G - D \beta^n) - k_2^{2r} \left\{ 15r(1+k_2^2) + D \right\} \right] \quad (4)$$

where

$$C = \left( P \frac{l_0^3}{l} \right) / [60n I_0 k_1 (1 + 4k_2^2 + k_2^4)]$$

$$D = (-8k_2^6 + 6k_2^4 - 6k_2^2 + 8) / (1 + 4k_2^2 + k_2^4)$$

$$G = k_2^{2n} [15n(1 + k_2^2) + D] \quad \text{and}$$

$\beta = (-2 + \sqrt{3})$ , one of the roots of the auxiliary equation  $(a^2 + 4a + 1) = 0$

Taking  $k_2 = 1$  Eqn. (4) reduces to the form

$$M_r = \frac{P l^2}{12} \left[ \frac{\beta^{n+r} - \beta^{n-r}}{\beta^{2n} - 1} - \frac{r}{n} \right] \quad (5)$$

### Example II

Frequency Analysis of a Grid (Fig. 3)  
from Ellington and McCallion (6)

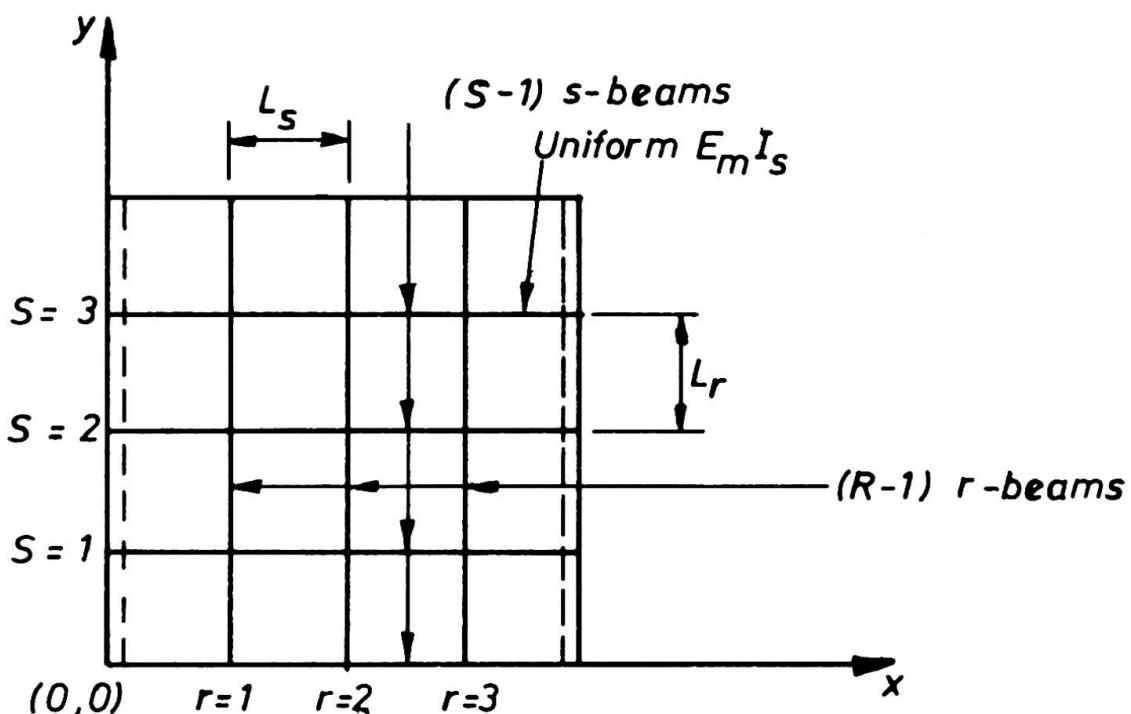


Fig. 3

Considering the grid shown, the two moment equations in the orthogonal directions and the shear equation at the node give the three fundamental equations as follows :-

r direction

$$M_{r+2,s} + 4M_{r+1,s} + M_{r,s} = \frac{6 E_m I_r}{h_r^2} (y_{r+2,s} - 2y_{r+1,s} + y_{r,s}) \quad (6)$$

s direction

$$M_{r,s+2} + 4M_{r,s+1} + M_{r,s} = \frac{6 E_m I_s}{h_s^2} (y_{r,s+2} + 2y_{r,s+1} + y_{r,s}) \quad (7)$$

Equilibrium Eqn. at (r+1, s+1)

$$\begin{aligned} \frac{M_{r+2,s+1} - 2M_{r+1,s+1} + M_{r,s+1}}{h_r} + \frac{M_{r+1,s+2} - 2M_{r+1,s+1} + M_{r+1,s}}{h_s} \\ = \frac{W}{g} \omega^2 y_{r+1,s+1} \end{aligned} \quad (8)$$

Applying the finite difference operators  $E_r$  and  $E_s$  defined by  $E_r^x y_{r,s} = y_{r+x}$  and  $E_s^x y_{r,s} = y_{r,s+x}$  and combining the eqs. (6), (7) and (8) the following basic equation is obtained.

$$\left[ \frac{K_r}{2} \left( \frac{\xi_r^2}{\xi_r + 6} \right) + \frac{K_s}{2} \left( \frac{\xi_s^2}{\xi_s + 6} \right) - \frac{W}{g} \omega^2 \right] y = 0 \quad (9)$$

where  $\xi = \frac{(E-1)^2}{E}$  and  $K = 12 E_m I / h^3$

The deflection function satisfying the particular case of simply-supported edge conditions at  $r = 0$  and  $r = R$  is

$$y = A \sin \left( \frac{p\pi r}{R} \right) e^{\sigma_s} \quad (10)$$

where  $(R-1)$  = total number of 'r' beams

$A$  = an arbitrary constant

$p$  = an integer and  $\sigma$  has to be determined from the boundary conditions.

When the two edges are free the frequency equations obtained are as follows:

$$\frac{\cos h \alpha(z+1)}{\cos h \alpha z} - \frac{\cos \beta(z+1)}{\cos \beta z} = 0 \quad (11)$$

$$\text{and } \frac{\sin h \alpha(z+1)}{\sin h \alpha z} - \frac{\sin \beta(z+1)}{\sin \beta z} = 0 \quad (12)$$

for symmetric and antisymmetric modes respectively  
where  $(2z+1)$  = number of 's' beams

$$\left. \begin{array}{l} \cos h \alpha \\ \cos \beta \end{array} \right\} = (1 + \lambda) \pm \sqrt{\lambda^2 + 6\lambda}$$

$$\text{in which } \lambda = \frac{w \omega^2}{2gK_s} - \frac{K_r}{2K_s} \left[ \frac{\{\cos(p\pi/R) - 1\}^2}{\cos(p\pi/R) + 2} \right]$$

It is hardly necessary to add that the method is very powerful for discrete models.

#### BIBLIOGRAPHY

- (1) Kármán, T. and Biot, M., 'Mathematical Methods in Engineering', Chap. XI, McGraw Hill, New York (1940).
- (2) Bleich, F. and Melan, E., 'Die gewöhnlichen und partiellen Differenzgleichungen der Baustatik', J. Springer, Berlin (1927).
- (3) Thein Wah and Calcote, L.R., 'Structural Analysis by Finite Difference Calculus', Van Nostrand Reinhold, New York, 1970.
- (4) Renton, J.D., 'On the Gridwork Analogy for Plates', J. Mech. Phys. Solids, 13, 413-420 (1965).
- (5) Dean, D.L. and Ugarte, C.P., 'Analysis of Structural Nets', Pub. IABSE, Vol. 23, 1963, pp. 201-220.
- (6) Ellington, J.P. and McCallion, H., 'The Free Vibrations of Grillages', J. App. Mech. 26, Trans. ASME, Series E, 603-607 (1959)

## SUMMARY

The presentation describes the application of Finite Difference Calculus to obtain analytical solutions for structural systems, like cable networks, involving repetitive configurations and physical quantities with a definite sequential relation between them at regular intervals. Two illustrative examples are presented:

- 1) Analysis of the support moments of a continuous beam and
- 2) Frequency analysis of a grid.

## RESUME

Ce travail décrit l'application du calcul aux différences finies pour obtenir les solutions analytiques pour des systèmes structurés tels que les réseaux de câbles, possédant une configuration qui se répète et des grandeurs physiques liées entre elles par une relation continue définie à intervalles réguliers. Deux exemples explicatifs sont présentés:

- 1) Analyse des moments d'appui d'une poutre continue, et
- 2) Analyse des fréquences d'une grille de poutres.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die vorliegende Arbeit beschreibt die Anwendung der endlichen Differenzenberechnung zur Erzielung analytischer Lösungen für strukturelle Systeme, wie Kabelnetzwerke unter Einschluss wiederholter Konfigurationen und physikalischer Mengen mit bestimmter aufeinanderfolgender Beziehung untereinander in regelmäßigen Intervallen. Es werden zwei illustrative Beispiele gezeigt:

- 1) Analyse der Stützmomente eines durchlaufenden Balkens und
- 2) Frequenzanalyse eines Netzwerkes.

**Leere Seite**  
**Blank page**  
**Page vide**

### IIIa

#### Ein Verfahren für die Formfindung vorgespannter Netzwerkkonstruktionen

A Method for Finding out the Form of Prestressed Cable Suspended Constructions

Un procédé pour l'étude de la forme des constructions formées de résilles de câbles précontraints

J. SZABÓ  
Prof. Dr.-Ing.  
Technische Universität  
Budapest, Ungarn

J. H. Argyris und T. Angelopoulos [1] erläutern in ihrem Aufastz:

"Ein Verfahren für die Formfindung von beliebigen, vorgespannten Netz - werkkonstruktionen" eine interessante Möglichkeit der Formfindung. Unserseits [2], [3] wurde das Problem in anderer Weise angenähert, und die dabei erhaltenen Ergebnisse sind wohl nicht ohne Interesse. Namentlich wurde die Möglichkeit ausgenutzt, dass die Form des Netzwerkes mit Hilfe der linearen Matrixgleichung (1) eines im Grundriss aus zwei parallelen

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_x \mathbf{Z} + \mathbf{Z} \mathbf{A}_y &= \mathbf{Q} \\ \mathbf{Q} &= \mathbf{H}_y^{-1} \mathbf{P} \mathbf{H}_x^{-1} + \frac{1}{a} \mathbf{H}_y^{-1} \mathbf{Z}_{oy} + \frac{1}{b} \mathbf{Z}_{ox} \mathbf{H}_x^{-1} - \frac{1}{b} \mathbf{W} \mathbf{C}_y \mathbf{H}_x^{-1} \end{aligned}$$

Geradenscharen bestehenden rechteckförmigen Seilnetzes schnell und genau berechnet werden kann. Die Berechnung wird einfacher, wenn man die Koeffizienten der Gleichung durch Ähnlichkeitstransformation (2) derart in ein Dreierprodukt transformiert, dass seine beiden Randfaktoren die Inver-

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{A}_x &= \frac{1}{a} \mathbf{H}_y^{-1} \mathbf{C}_x = \mathbf{U}_x \Lambda_x \mathbf{U}_x^{-1} \\ \mathbf{A}_y &= \frac{1}{b} \mathbf{C}_y \mathbf{H}_x^{-1} = \mathbf{U}_y \Lambda_y \mathbf{U}_y^{-1} \end{aligned} \right\}$$

sen voneinander sind und der mittlere Faktor eine Diagonalmatrix ist [4].

Die Form des Netzes wird dann durch die in der Gleichung enthaltenen fünf Faktoren bestimmt (Abb. 1):

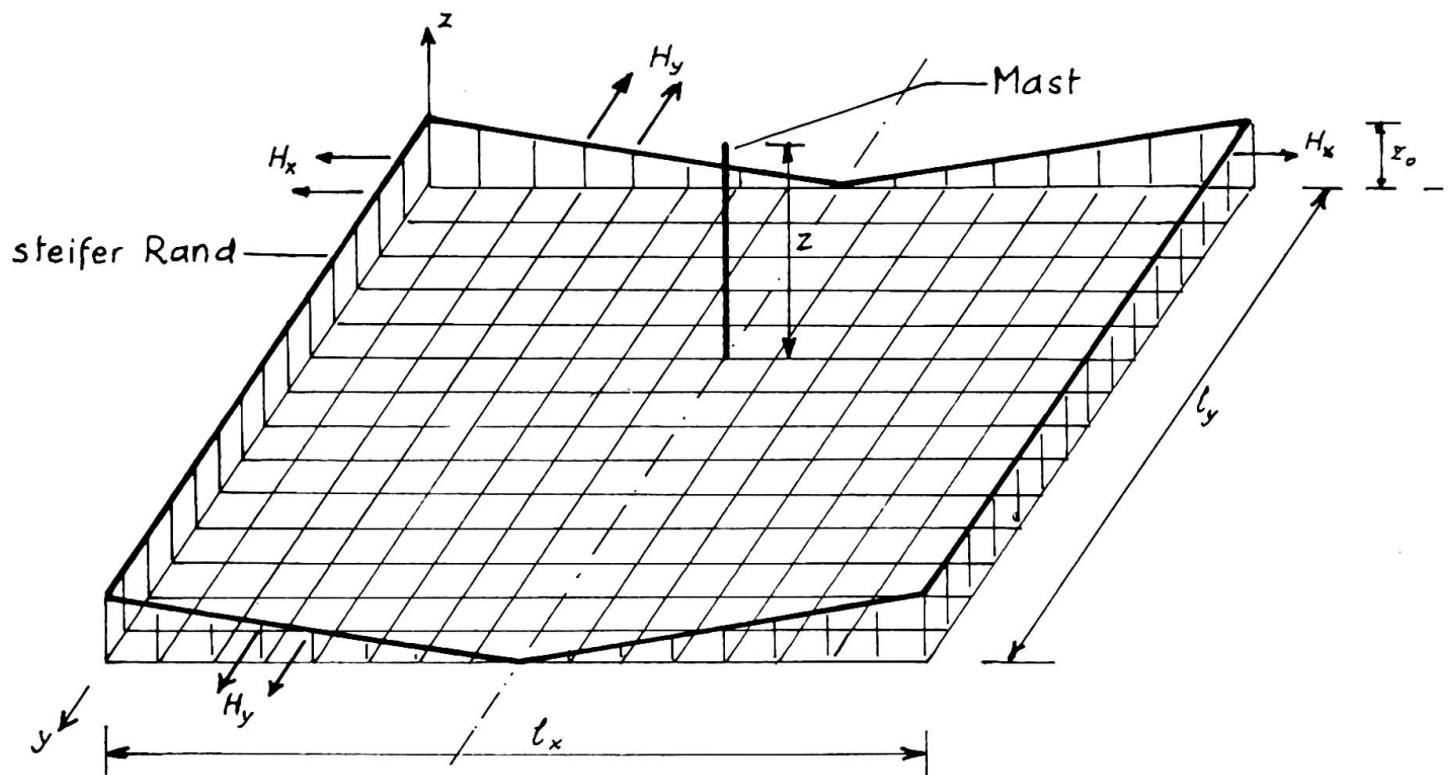


Abb. 1

- 1° vorgegebene Randhöhe ( $Z_0$ ),
- 2° horizontale Komponente der Seilkräfte ( $\mathbf{H}$ ),
- 3° Knotenpunkt-Höhendifferenz der Seile ( $\mathbf{W}$ ),
- 4° Knotenpunktlast ( $\mathbf{P}$ ),
- 5° Festlegung der Höhenlage einzelner Netzpunkte ( $\mathbf{Z}$ ).

Der eigentliche Rand des Seilnetzes kann innerhalb des Randes der

fiktiven Rechteckform eine geschlossene Kurve von beliebiger Form sein und seine Höhenlage beliebig vorgegeben werden. Der eigentliche Rand kann steif oder elastisch sein (Abb. 2) auch am Randkabel (Abb. 3 und 4) liegend vorgegeben werden. Das auf einen fiktiven Rand gespannte Seilnetz kann mit den folgenden drei rechnerischen Mitteln in die dem eigentlichen Rand entsprechende Lage gebracht werden: 1° Änderung

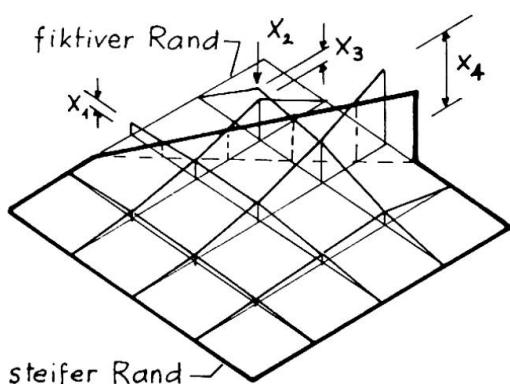


Abb. 2

der Höhenlage der fiktiven Randpunkte (Abb. 2:  $x_1$  und  $x_4$ ); 2° Belastung der zwischen dem fiktiven und eigentlichen Rand befindlichen Punkte ( $x_2$ ); 3° Variierung der Seilabstände in den Knotenpunkten zwischen dem fiktiven und dem eigentlichen Rand ( $x_3$ ).

Das einfach berechenbare rechteckförmige Seilnetz dient als Basisfläche zur Berechnung von beliebigen anderen Netzwerken. Mit seiner Hilfe kann das Richtungsfeld der Hauptkrümmungslinien der "Netzfläche" und damit ein Seilnetz, dessen Seile

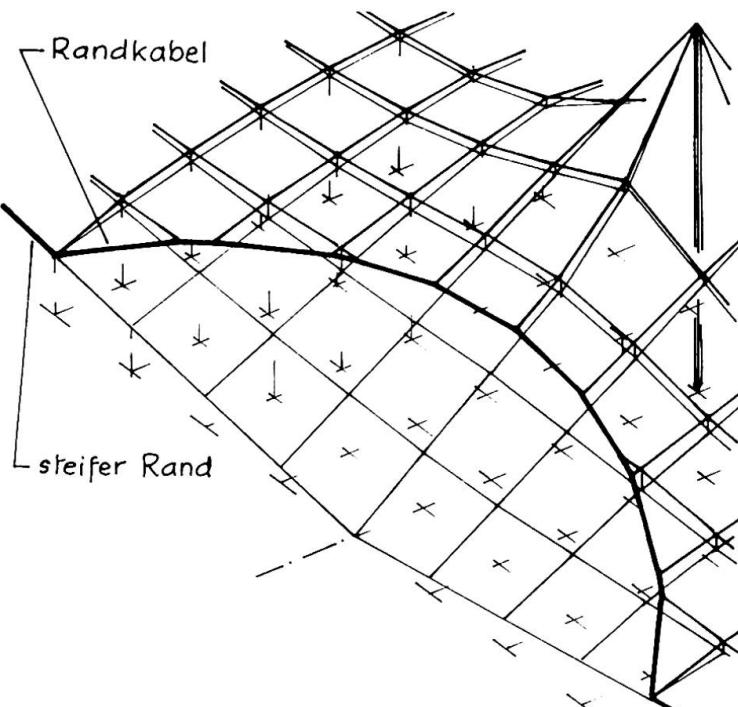


Abb. 3

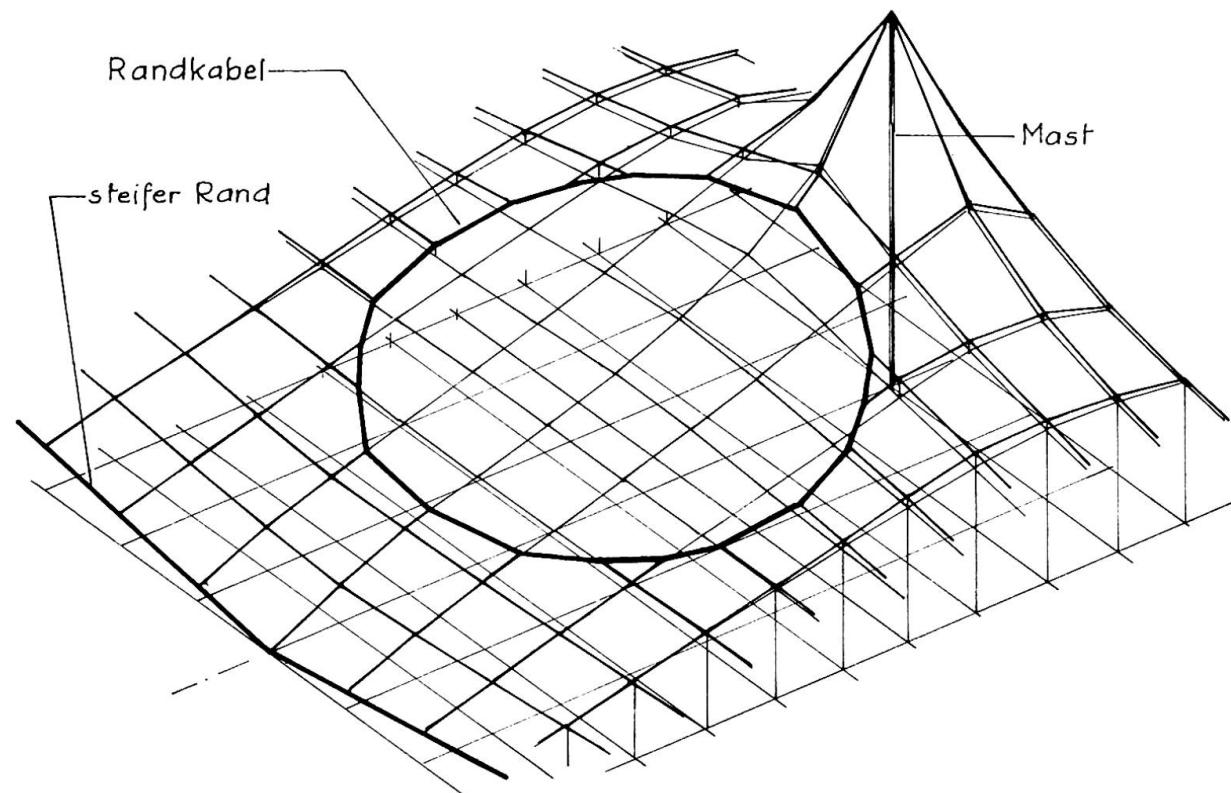


Abb. 4

den Hauptkrümmungslinien entsprechend angeordnet sind, konstruiert werden (Abb. 5).

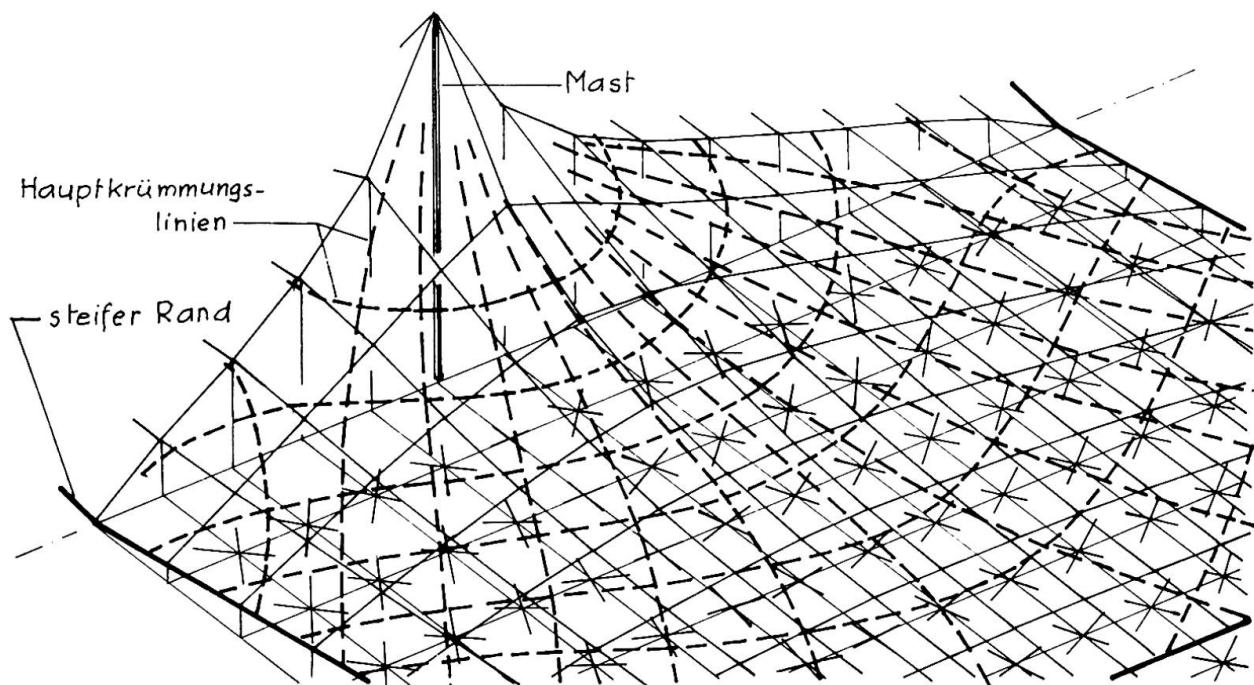


Abb. 5

Literatur

- [1] J. H. Argyris - T. Angelopoulos: Ein Verfahren für die Formfindung beliebigen, vorgespannten Netzwerkkonstruktionen (IVBH IX. Kongr. Vorbericht, pp 385-397, 1972)
- [2] J. Szabó - M. Berényi: Theorie und Praxis der Berechnung von Seilkonstruktionen (IVBH Abhandlungen, 32 - I)
- [3] J. Szabó: Bemerkungen zur Berechnung Seilverspannte Konstruktionen (Acta Technica Sc. Hung. 75, 1972 Budapest)
- [4] J. Szabó: Mit Hilfe der kanonischen Form der Matrixfunktionen usw. (Wiss. Zeitschr. TU Dresden, 10 pp 1325-1327, 1961).

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Anfangsform des Netzes kann mit Hilfe eines orthogonalen Seilnetzes bequem bestimmt werden. Die Daten des orthogonalen Seilnetzes können zur Konstruktion eines beliebigen Netzes als Hilfsmittel benutzt werden.

## SUMMARY

The basic shape of the net can easily be determined by the means of an orthogonal cable net. The data of the orthogonal cable net can be utilized for the construction of an arbitrary net.

## RESUME

La forme de départ du réseau peut être déterminée facilement à l'aide d'une grille de câbles orthogonaux. Les données de la grille orthogonale peuvent être employées pour la construction d'un réseau quelconque.

**Leere Seite**  
**Blank page**  
**Page vide**

### IIIa

#### Zur Frage der Netzseilführung bei gleichmaschigen vorgespannten Seilnetzkonstruktionen

On the Question of the Disposition of the Cables on Prestressed Cable Suspended Constructions of Equal Meshes

La question de la disposition des câbles dans les constructions formées de réilles de câbles précontraints à mailles égales

HARALD EGGER  
Dr.techn.  
Wien, Oesterreich

Beim Entwerfen von vorgespannten Seilnetzkonstruktionen stellt sich unter anderem die Frage, wie das gleichmaschige Netz in der zu realisierenden Sattelfläche auslegen. Die Seilführung, das heisst die Richtung in welcher die Seile in der Sattelfläche geführt werden, beeinflusst nämlich entscheidend das Trag- und Verformungsverhalten der gewählten Konstruktion und somit auch

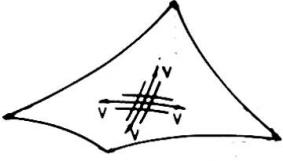
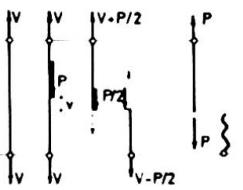
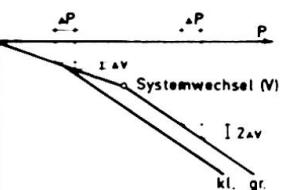
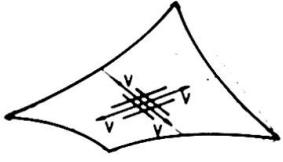
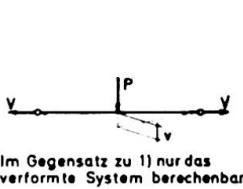
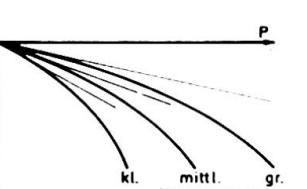
Seilführung	Tragwirkung (schem.)	Last(V,P)-Verformungsverhalten	Anwendung
			wirtschaftlich
1) Netzseile verlaufen weitgehend in Richtung der Hauptkrümmungen	Wechselsystem mit veränderl. Gliederung	Grad der Vorspannung bestimmt den Systemwechsel	
			möglich und in Sonderfällen (Montage zw. Zwangspkten) auch sinnvoll
2) Netzseile verlaufen weitgehend in Richtung der Erzeugenden	Kein Systemwechsel möglich	Grad der Vorspannung bestimmt direkt die Verformung	
3) Alle Zwischenlagen ausführbar, jedoch von 1) nach 2) hins.d.f. gef.y notw. Vorsp. zunehmend aufwendiger			

Bild 1: Zusammenhänge zwischen Netzseilführung und Tragverhalten

den zur Realisierung erforderlichen Aufwand.

In der in Bild 1 gezeigten, von vier Randseilen eingefassten Sattelfläche sind zwei Möglichkeiten der Netzseilführung angedeutet:

unter 1) Seile, die weitgehend in Richtung der Hauptkrümmungen und unter 2) Seile, die weitgehend in Richtung der Erzeugenden geführt werden.

Beide Seilführungen, aber auch alle anderen Möglichkeiten der Orientierung des Netzes zwischen diesen beiden Grenzfällen der Seilführung sind möglich, doch nicht gleichwertig, wie in der Literatur an einigen Stellen angegeben.

Schon in der Veröffentlichung über den Deutschen Pavillon in Montreal (1) wurde auf folgende Zusammenhänge hingewiesen:

Werden die Seile in Richtung der Hauptkrümmungen geführt und erfolgt somit die Lastabtragung über sich gegenseitig vorspannende, stehende und hängende Seilbögen, kann die Tragwirkung der vorgespannten Netzfläche mit der eines lotrecht gespannten, mittig achsial belasteten Seiles (Feder) verglichen werden, werden jedoch die Seile in Richtung der Erzeugenden geführt und die Lasten somit über nahezu gerade gespannte Seile in einem verwundenen Seilrost abgetragen, gilt zum Vergleich das Gedankenmodell des waagrecht gespannten, querbelasteten Seiles.

Aus den zugehörigen Last-Verformungsbildern wird aber deutlich, dass die beiden genannten Möglichkeiten sich nicht nur im Verformungsverhalten, sondern auch im statischen System unterscheiden. Im Fall 1) ist es ein Wechselsystem mit veränderlicher Gliederung, bei dessen Berechnung die Verformungen zu berücksichtigen sinnvoll ist, im Fall 2) dagegen ist eine Berechnung überhaupt nur unter Berücksichtigung der Verformungen möglich und der Systemwechsel bleibt aus. Und während im Falle 1) die Intensität der Vorspannung die Grösse der Durchbiegungen an sich nicht beeinflusst, sondern lediglich den Systemwechsel reguliert, nach dessen Eintritt sie sich allerdings verdoppeln, sind im Falle 2) die Durchbiegungen unmittelbar und nichtlinear von der Vorspannintensität abhängig. Weiters folgt, dass für die Lastabtragung im Fall 1), will man gleiche Durchbiegungen zulassen, ein geringerer Aufwand an Vorspannung notwendig sein muss als im Fall 2), bei dem diese, wie bereits erwähnt, abhängig von der Vorspannintensität nichtlinear zunehmen.

Der Vollständigkeit halber sei aber erwähnt, dass bei von biegeweichen Randseilen eingefassten, vorgespannten Netzflächen im Bereich der sich ausbildenden Zwickel die Netzfläche praktisch eben ist und dass sich dort auch im Fall 1) die lastabtragenden Bögen nicht an den Randgliedern sondern in den vorgelagerten nahezu ebenen Netzpartien stützen. Das bedingt aber wieder, dass auch im Falle 1) die Verformungslinien geringfügig von der Vorspannintensität abhängig sein werden und einen nichtlinearen Verlauf zeigen müssen.

#### Literaturnachweis

(1) H.Egger, E.Haug, F.Leonhardt: Der dt.Pavillon ...  
'Der Stahlbau' 1968, Heft 4 und 5, Wilhelm Ernst u.Sohn, Berlin

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Netzseilführung beeinflusst das Trag- und Verformungsverhalten einer vorgespannten Seilnetzkonstruktion und somit den zur Realisierung notwendigen Aufwand. Zweckmäßig sind die Seile annähernd in Richtung der Hauptkrümmungen zu führen.

## SUMMARY

The disposition of the cable net influences the behaviour of capacity and deformation of a prestressed cable net construction and, therefore, the expenditure for its realizing. It is recommended to put the cables in the direction of the main curvatures.

## RESUME

La disposition des câbles influence le pouvoir de charge et de déformation d'une construction réticulée et ainsi la dépense nécessaire à sa réalisation. Il est donc favorable de placer les câbles à peu près dans le sens des courbures principales.

**Leere Seite**  
**Blank page**  
**Page vide**

### IIIa

#### **Bemerkungen des Verfassers des Einführungsberichtes** Comments by the Author of the Introductory Report Remarques de l'auteur du rapport introductif

FRITZ LEONHARDT  
Prof. Dr.-Ing.  
Stuttgart, BRD

Die grosse Zahl der Beiträge zu diesem Thema zeigt nicht nur das Interesse an Seilkonstruktionen, sondern auch die zunehmende praktische Bedeutung.

Die Beiträge können gegliedert werden in vier Gruppen:

1. Berechnungsverfahren
2. Berichte über ausgeführte Seildächer
3. Schwingungsverhalten von Hängedächern
4. Vorschläge für Membrandächer

#### Zu 1. Berechnungsverfahren

Die computergerechten Berechnungsverfahren können als gelöst betrachtet werden. Die erfolgreiche Anwendung der Verfahren von Argyris und Linkwitz bei den grossen Olympia-Dächern in München haben die Brauchbarkeit der Ansätze bewiesen, sie bedingen allerdings für solche Bauwerke sehr leistungsfähige Rechenmaschinen. Es muss betont werden, dass zum Bauen solcher Dächer die Berechnung der genauen Geometrie für eine definierte Vorspannung und daraus die Berechnung der genauen Längen der Seile, der sogenannte Zuschnitt, die wichtigste Aufgabe darstellt. Dabei ist zu beachten, dass bei den Verhältnissen der Olympia-Dächer ein Längenfehler von nur 1 % einen Kraftfehler in der Vorspannung von 50 % ergab.

Es ist erwünscht, dass die mühsam erarbeiteten Programme dieser grossen Seilnetzdächer gut dokumentiert werden, damit sie jederzeit für weitere solche Aufgaben verwendet werden können.

#### Zu 2. Berichte über ausgeführte Seildächer

Die Berichte über ausgeführte Seildächer zeigen, dass das sattelförmige Dach, das an einem im Grundriss etwa kreisförmigen Ringträger aufgehängt

ist, sich für die Überdachung von Sportarenen, z.B. Milano und Gothenburg, besonders eignet, weil die Horizontalkräfte im Ringträger auf billige Weise aufgenommen werden. Das Beispiel des Eishockey Stadions in Tampere zeigt, dass auch die rechteckige Grundrissform mit Abspannkabeln brauchbar ist.

Der Bericht über die grossen Olympia-Dächer in München gibt natürlich nur einen kleinen Einblick in all die Probleme, die bei dieser ungewöhnlichen Aufgabe angetroffen und gelöst wurden. In nächster Zeit werden einige ausführlichere Berichte hierüber veröffentlicht werden. Zur Lösung der Probleme und zur Sicherheit wurden zahlreiche Versuche durchgeführt, die zur Erweiterung unserer Kenntnisse beitragen. Verschiedene Zweige unserer Wissenschaften haben durch dieses Bauvorhaben Anstösse zu neuen Arbeiten erhalten. Allein die Organisation der Bauausführung stellte schon ungewöhnliche Anforderungen, und es ist sehr dankenswert, dass Egger, Jasch und Rümmelin mit ihrem Bericht über die praktische Ausarbeitung von Zuschnitten einen Einblick in die Werkstatt des ausführenden Ingenieurs gegeben und die Computer-Hilfe aufgezeigt haben.

Die hohen Kosten der Olympia-Dächer sind schon weltberühmt geworden. Als verantwortlicher Ingenieur dieser Dächer will ich hier sagen, dass diese Kosten nur zu einem Teil technisch bedingt waren, z.B. durch die Forderung, dass die Tribünen vollständig stützenfrei sein mussten, so dass die Dächer von aussen her aufgehängt werden mussten, was zu sehr grossen Mast- und Ankerkräften führte. Auch sonst wirkten sich manche Forderungen der Sportverbände, des Fernsehens und der Architekten kostensteigernd aus. Die hohen Kosten dürfen aber nicht als genereller Maßstab für Seilnetzdächer betrachtet werden, denn es gibt Formen und Dachdeckungen, die wirtschaftlich wettbewerbsfähig sind. Um solche wirtschaftlich günstigen Formen sollten wir Ingenieure uns in Zukunft besonders bemühen.

#### Zu 3. Schwingungsverhalten von Hängedächern

Neben den theoretischen Ansätzen für Schwingungen halte ich Messungen an fertigen Hängedächern für sehr wertvoll und notwendig, damit Daten für die tatsächliche Dämpfung gewonnen werden, ohne die wir die dynamische Sicherheit nicht beurteilen können. So ist die Arbeit von Jensen, Trondheim, besonders zu begrüßen, da sie uns zum ersten Mal den beachtlichen Anteil der aerodynamischen Dämpfung bei Membrandächern experimentell nachweist. Am Olympia-Dach werden in Kürze wohl Schwingungsmessungen mit der fertigen Dacheindeckung gemacht werden, die den hohen Dämpfungsbeitrag der auf Neoprene-Puffern gelagerten Plexiglasdachhaut zeigen werden.

#### Zu 4. Vorschläge für Membrandächer

Der Vorschlag von Bandel, an Stelle von Netzen mit Stahlblech-Lamellenbelag gleich Blechmembranen aus nichtrostendem Metall zu machen, ist sicher beachtenswert, doch wird auch dabei für einschalige Dächer eine mechanische Vorspannung nötig sein, weil die pneumatische nicht ausreichen dürfte, um die Verformungen und Schwingungen in erträglichen Grenzen zu halten.

In meinem Einführungsbericht hatte ich folgende wichtige Fragen für die weitere Entwicklung der Seilkonstruktionen herausgestellt:

1. Grad und Verteilung der Vorspannung
2. Zweckmässige Formgebung und Formfindung
3. Wirtschaftliche Verankerungen

Hierzu sind leider keine Antworten gegeben worden. Es wäre dringend erwünscht, dass Regeln für das notwendige Maß der Vorspannung erarbeitet werden, insbesondere im Hinblick auf das Verhüten gefährlicher Schwingungen.

Auch die Formfindung bedarf noch weiterer Arbeit, wobei wir Ingenieure uns unserer Verantwortung auch hinsichtlich der Ästhetik unserer Bauwerke bewusst sein müssen, die wir nicht kritiklos dem Architekten überlassen dürfen.

Ich hoffe zuversichtlich, dass gerade auch dieser Kongress manche Anregung für die weitere Entwicklung der Seilkonstruktionen gegeben hat.

**Leere Seite**  
**Blank page**  
**Page vide**