

# Hinweise zur praktischen Ausarbeitung von Zuschnitten für gleichmäßig gespannte Seilnetze, gezeigt am Zuschnitt für die Netze des Olympischen Daches in München

Autor(en): **Egger, H. / Jasch, E. / Rümmelein, R.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **9 (1972)**

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-9576>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

### IIIa

#### Hinweise zur praktischen Ausarbeitung von Zuschnitten für gleichmaschig gespannte Seilnetze, gezeigt am Zuschnitt für die Netze des Olympischen Daches in München

Remarks about the Practical Cutting of Square Strained Networks Shown by the Cutting of the Roof for the Olympic Stadion in Munich

Considérations au sujet de la préparation des éléments constituants de treillis réguliers et leurs applications aux toitures construites pour les Jeux Olympiques de Munich

H. EGGER

Dr. techn.

Wien, Oesterreich

E. JASCH

Dipl.-Ing.

Rheinhausen, BRD

R. RÜMMELEIN

Dr.-Ing.

München, BRD

Arbeitsgemeinschaft Stahlbau-Dach

#### 1. Einführung

Die gespannten Seilnetzkonstruktionen unterscheiden sich von Bauwerken herkömmlicher Art im Ersatz der Bauwerksmasse durch Energie, die in den Netzen in Form der Vorspannung gespeichert ist. Diese Netze erfordern eine im Vergleich mit herkömmlichen Baukonstruktionen ungewohnt hohe Herstellungsgenauigkeit, weil jeder Fehler in den Längen einem Fehler in den Kräften gleichkommt und somit unmittelbar das geplante, zur weiteren Lastabtragung notwendige Potential der Vorspannung verändert.

So liegt das Hauptproblem beim Bau gespannter Seilnetzkonstruktionen in der Ermittlung der exakten Längen aller die Konstruktion bildenden Seile, d.h. in der Findung und Realisierung des dem geplanten Vorspannzustand mit hinreichender Genauigkeit entsprechenden Zuschnittes der Netze.

##### 1.1. Allgemeines über Zuschnitte von Netzwerken

Der Systemzuschnitt für ein gespanntes Netz beinhaltet die eindeutige Festlegung seiner Systemlinien und entspricht einem festgelegten definierten Vorspannzustand.

Der Ausführungszuschnitt wird mit den Angaben des Systemzuschnittes ausgearbeitet und umfasst alle für die Herstellung der Seile und im weiteren der Netze notwendigen Angaben. Er berücksichtigt sowohl die den Systemzuschnitt bestimmenden Vorspannkkräfte als auch die Form und Lage aller Beschläge und Umlenkkörper sowie die Dickenabmessungen der Seile selbst.

Die Konstruktion kann in den Systemzuschnitt zeichnerisch eingearbeitet oder bei der Ermittlung der Seillängen auch rechnerisch berücksichtigt werden.

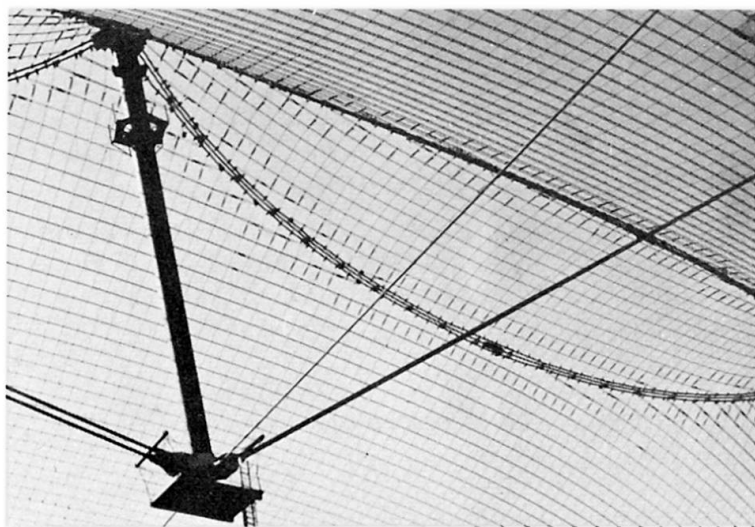
Das Aufzeichnen des Zuschnittes wird durch den Umstand erschwert, dass die sattelförmigen Flächen gespannter Seilnetze nicht abwickelbar sind. Es lässt sich zwar das gleichmaschige Netz, gelöst von der Einbindung in seine Randseile, eben ausbrei-

ten und somit fehlerfrei in einer Zeichenebene darstellen, nie aber der Netzrand mit den Randseilen. Er kann lediglich auf hinreichend eng gelegte Ebenen projiziert werden, die sich aus der Bedingung bestimmen, dass die Summe der Abstandskvadratsumme zum Minimum wird, oder mit Hilfe der 'wahren Längen' zwischen seinen System- oder Knotenpunkten abgewickelt werden. Das Ergebnis sind die Zuschnittspläne, die in beiden Darstellungsarten systembedingt fehlerbehaftet sind. Der Fehler kann jedoch bei entsprechendem Aufwand hinreichend klein gehalten werden.

## 1.2. Die Netze für das Olympische Dach in München

Das konstruktive Konzept des Olympischen Daches in München zeigt eine Reihe von sattelförmigen Flächen aus vorgespannten gleichmaschigen Seilnetzen, die von Randseilen eingefasst zwischen Hoch- und Tiefpunkten aufgespannt und miteinander verbunden sind.

Die Netzseile sind hier Zwillingsseile und die Netze sind in die Randseile mit Endschlaufen eingebunden, die an den Zwillingsseilen mit Spannschlössern angeschlossen sind. Die Randseile bestehen aus Seilsträngen gleicher Traglast, die überall dort, wo die Kraft im Rand grösser ist als die Traglast eines Stranges, in entsprechender Zahl in der Netzfläche nebeneinander liegend eingebaut sind. Dabei wird die Last aus dem Netz zunächst in das Girlandenseil eingetragen, welches seinerseits die dahinterliegenden Polygonseile mitbeansprucht.



Hinsichtlich der Methoden der Formfindung, der Formfestlegung und der Ermittlung des Systemzuschnittes sowie auch hinsichtlich konstruktiver Einzelheiten kann auf die Beiträge von Argyris, Linkwitz und Schlaich in diesem Vorbericht hingewiesen werden.

Bild 1. Die Netze über der Sporthalle mit Unterspannung

## 1.3. Zum Inhalt der vorliegenden Arbeit

In dieser Arbeit werden die Angaben genannt, die der Systemzuschnitt zu umfassen hat (Abschn.2), werden mögliche Methoden zur Ausarbeitung des Ausführungszuschnittes erläutert (Abschn. 3.1), wobei besonders auf die nur rechnerische Methode eingegangen wird (Abschn.3.2), die mit nur einem Rechenprogramm die Ermittlung der Bestelllängen direkt aus den Raumkoordinaten des Systemzuschnittes erlaubt, und wird die praktische Bearbeitung (Abschn.3.3) vorgeführt; weiter werden die bei der praktischen Durcharbeitung und Montage des Olympischen Daches hinsichtlich der Zuschnitte gemachten Erfahrungen (Abschn.4) mitgeteilt.

## 2. Vorgaben aus dem Systemzuschnitt

Zur Ausarbeitung des Ausführungszuschnittes sind nachfolgend zusammengestellte Angaben aus der Geometriebestimmung, der Festigkeitsberechnung und dem konstruktiven Entwurf notwendig.

Angaben aus zur	Geometriebestimmung	Festigkeitsberechnung	Konstruktiver Entwurf
allgemeinen Beurteilung	Zahl der bei der Formfindung realisierten Maschen Darstellungsart der Zuschnittspläne Grösse der maximalen Projektionsfehler Art der Netzseilinterpolation und der Randseilachsenglättung		Zahl und Lage von Nachspannstellen im Netz und möglicher Nachstellweg
Bestimmung der Netzseile	Übersicht des ausgebreiteten Netzes Begrenzung des gleichmaschigen Bereiches x) Zuschnittspläne	Seilquerschnitt Dehnverhalten des Seiles Vorspannkraft Ablängkraft	Ausbildung der Randseile, des Randseilan-schlusses und möglicher Spannstellen
Bestimmung der Randseile	Zuschnittspläne mit Stationierung der Randseilachse Koordinaten von Punkten auf dieser Achse (soweit möglich der Einbindungspunkte)	Seilquerschnitt Dehnverhalten des Seiles Verlauf der Seilkraft im Vorspannzustand und ihre Aufteilung bei mehreren Strängen Max.Abstand der Randseilverbindungsschellen Vorspannkraft im Netz	Ausbildung der Randseilschellen und ihr Mindestabstand bei sich knapp am Rand schneidenden Seilen Ausbildung der Randseilverbindungsschellen, sowie der Umlenkörper und Endverankerungen
Bestimmung der Abspannseile	Koordinaten der Knotenpunkte und der zugeordneten Abspannpunkte	Seilquerschnitt Dehnverhalten des Seiles Vorspannkraft Ablängkraft	Ausbildung der Knotenpunkte im Netz und der Abstützung im Widerlager
Bestimmung der Umlenk-körperkon-struktionen	Koordinaten der Knotenpunkte Zuschnittspläne aller abgehenden Randseile	Seildurchmesser Grösse der im Knoten angreifenden Vorspannkraft	Minimaler Umlenkradius Ausmass der Systempunktverschiebung im Falle zu grosser Umlenk-körper

x) Bereiche ungleicher Maschenweite entstehen, wenn im Zuschnittsmodell nur jedes n-te Netzseil gebaut wird, bei der Interpolation der fehlenden Netzseile am Rand, weil diese dort vorerst noch nicht eindeutig möglich ist.

### 3. Die Ausarbeitung zum Ausführungszuschnitt

#### 3.1. Methoden

Bei der Ausarbeitung des Systemzuschnittes zum Ausführungszuschnitt werden die Systemlinien des Netzes durch Seile und seine Systempunkte durch Umlenkkörper- oder Knotenkonstruktionen ersetzt. Der Zuschnitt entspricht dann noch dem dem Systemzuschnitt zugrundeliegenden Vorspannzustand. Erst bei der Zerlegung des Netzes in seine Teile werden die einzelnen Längenmasse der Seile um jenes Mass verkürzt, um die sie sich unter Vorspannung dehnen und so dem Hersteller bekanntgegeben.

##### 3.1.1. Die zeichnerische Methode

Der gezeichnete Systemzuschnitt (Bild 2a) wird im Detail oder schematisch (Bild 2b) zur Konstruktionszeichnung ergänzt, sodass alle zur Herstellung notwendigen, noch fehlenden Masse aus dieser Zeichnung direkt abgenommen werden können. Die Längenmasse (Markierungs- und Schnittmasse) werden dann für jedes Seil in die Masskette einer Schemazeichnung, dem sogenannten Streifen, eingetragen und so dem Hersteller bekanntgegeben.

Für die Zuschnittspläne empfiehlt sich wegen der erforderlichen Genauigkeit der Masstab 1:10. Nach der bisher gemachten Erfahrung ist selbst dann noch eine Zeichengenauigkeit von mindestens 1 mm notwendig, um die Seillängen in den dem Bauwerk zuträglichen Toleranzen bestimmen zu können.

Vorteile: einfache und überschaubare Darstellungsart, keine besonderen Hilfsmittel, wie Computer, erforderlich.

Nachteile: Güte allein abhängig von der Gewissenhaftigkeit der Zeichner und kaum kontrollierbar, grosser Personalaufwand.

Die zeichnerische Methode wurde bei der Zuschnittsbearbeitung für den Dt.Pavillon in Montreal angewendet [1],[2].

Bild 2a.  
Zuschnittsplan

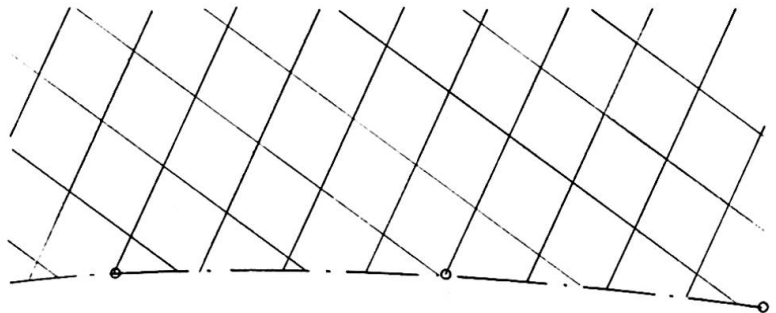
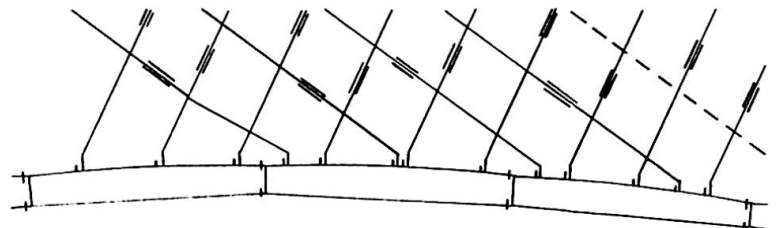


Bild 2b.  
Zuschnittswerkplan mit den Achsen der Randseilstränge, der Randseil- und Randseilverbindungs-schellen sowie den zugehörigen Markierungen



##### 3.1.2. Die rechnerische Methode

Bei der rechnerischen Methode wird die an sich mathematisch nicht definierte Randseilachse bereichsweise durch Kreisbögen



festgelegt, wobei ihre vorgegebene Länge beibehalten wird, und werden weiter alle Schritte des Aufzeichnens analytisch vollzogen. Diese Rechenschritte lassen sich in ein Rechenprogramm einbauen, das in einem Rechengang den Ausdruck der Bestellisten (geschriebene Streifen) nach Eingabe der Raumkoordinaten des Netzsystems ermöglicht. Eventuell vorhandene Zuschnittspläne dienen dann lediglich zur besseren Übersicht.

**Vorteile:** übersichtlich, geringer Personalaufwand, Güte unabhängig von den Leistungsschwankungen des technischen Personals.

**Nachteile:** konstruktive Verträglichkeit des materialisierten Systemzuschnittes an den Nahtstellen nur schwer kontrollierbar.

Die rechnerische Methode wurde bei der Zuschnittsbearbeitung für das Olympische Dach in München entwickelt.

Da sich die beiden genannten Methoden nur in der Durchführung unterscheiden, kann jeder beliebige Schritt auch zeichnerisch gelöst und das Ergebnis als Zwischenergebnis in die weitere Durchrechnung eingebaut werden. Ein solches Vorgehen wird immer dann notwendig, wenn die Angaben des Systemzuschnittes nicht vollständig sind oder aus konstruktiven Gründen Systempunktverschiebungen vorgenommen werden müssen; auch lassen sich mit ihm die unter 3.1.1 und 3.1.2 genannten Nachteile weitgehend vermeiden. Welche Schritte zweckmässig zeichnerisch gemacht werden, ist im Einzelfalle zu entscheiden.

### 3.2. Die rechnerische Methode

Alle im folgenden angegebenen Formeln und Hinweise gelten für den allgemeinsten Fall am Zusammenschluss zweier Netzflächen, deren Ränder von je einem Girlanden- und einem gemeinsamen Polygonseil eingefasst sind. Der freie Rand und das einfache Randseil, sowie das Girlandenseil mit mehreren Polygonseilen sind dann Sonderfälle.

#### 3.2.1. Grundlagen

Die lagemässig weitgehend frei festlegbaren Randseilverbindungsstellen RVS (vgl. Abschn. 3.3.2) sind zunächst in die vorgegebene Stationierung der Randseilachse einzubinden.

Mit der Annahme von  $B_{i,r}$  und  $B_{k,l}$  folgt entsprechend Bild 3a die Bogenlänge  $B_{i,k}$  zwischen den RVS  $i$  und  $k$  zu:

$$B_{i,k} = B_{i,r} + B_{k,l} \quad (1).$$

Für den Schellenbereich  $i-k$  kann weiter festgelegt werden:

Der Radius des bereichsweise für die Randseilachse festgelegten Kreisbogens mit drei Punkten der Randseilachse nach

$$r_{i,k} = \frac{s_2}{2\sqrt{1-\cos^2\beta}} \quad \text{mit } \cos\beta = \frac{s_1^2 + s_3^2 - s_2^2}{2s_1s_3} \quad (2),$$

der Schnittwinkel zwischen den beiden Netzflächen mit einem

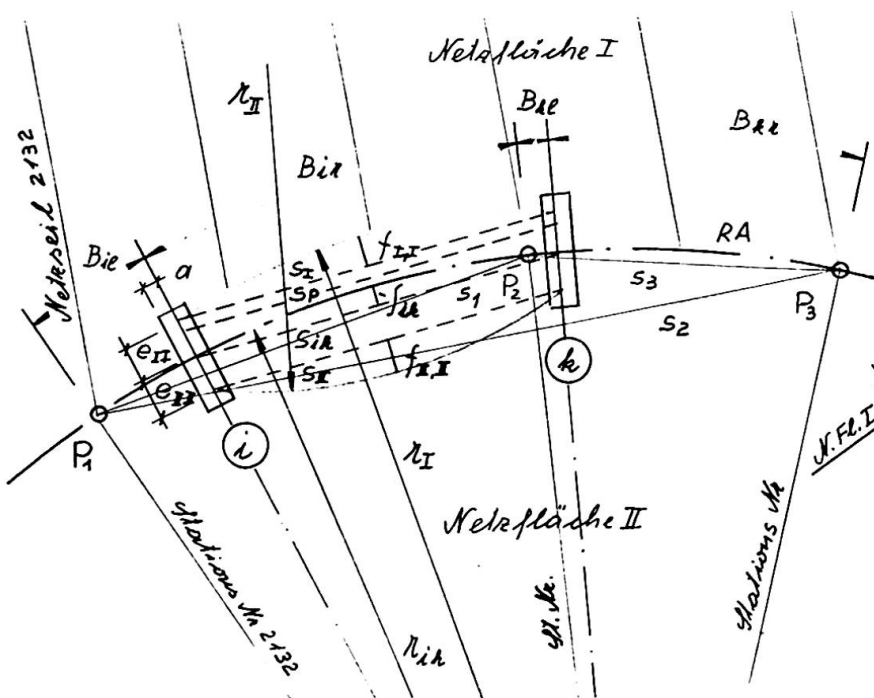


Bild 3b.

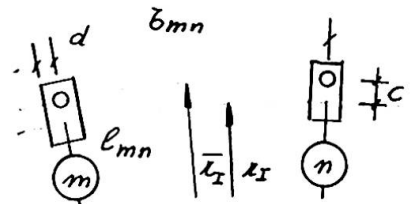
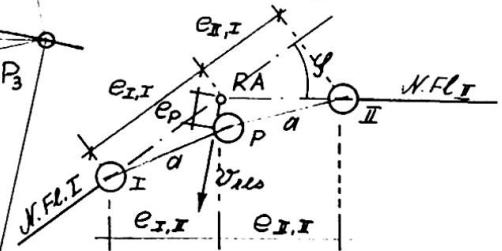
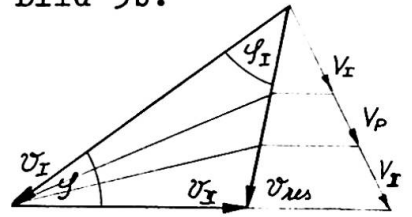


Bild 3a.

Bild 3c.

gegebenen Stationspunkt und je zwei gegebenen Netzflächenpunkten nach

$$P(x_1, y_1, z_1), P_{NI,2}(\dots), P_{NI,3}(\dots) \rightarrow \mathcal{N}_I$$

$$P_{NII,4}(\dots), P_{NII,5}(\dots) \rightarrow \mathcal{N}_{II}$$

$$\cos \varphi = \mathcal{N}_I \cdot \mathcal{N}_{II} \rightarrow \varphi \quad (3),$$

die Lage der einzelnen Randseilstränge zur Randseilachse RA, die identisch der Kraftachse ist, mit dem nach (3) bestimmten Schnittwinkel, den Vorspannkraften  $v$  in den vom Grat abgehenden Netzflächen und  $V$  in den Randseilsträngen sowie mit dem konstruktiv bedingten Abstand  $a$  der Randseile untereinander zeichnerisch nach Bild 3b - aus dieser graphischen Bestimmung folgen die Abstände  $e_{I,I}$ ,  $e_{II,II}$  und  $e_P$  - ;

der Stich der Girlande in den Netzflächen I und II mit den jeweiligen Bedingungen

$$H = \frac{v s^2}{8 f} \text{ und } H = H_{ges} \cdot \frac{V}{V_{ges}} \text{ nach}$$

$$f_{I,I} = \frac{v_I}{v_{ges}} \cdot \frac{V_{ges}}{V_I} \cdot f_{ges} \quad (\text{analog } f_{II,II}) \quad (4),$$

wobei sich der Index 'ges' auf die Randseilgesamtachse RA und auf die resultierende Gesamtbelastung bezieht;

der Radius der Girlande in den Netzflächen I und II mit (1), (2) und (4) nach

$$r_I = \frac{s_I^2}{8 f_{I,I}} + \frac{f_{I,I}}{2} \quad (\text{analog } r_{II,II}) \quad (5),$$

die Bogenlänge der Girlanden im Vorspannzustand ermittelt aus (5) nach

$$B_I = \frac{\pi}{90} \cdot \frac{\alpha_I}{2} \cdot r_I \quad (\text{analog } B_{II}) \quad (6),$$

und die Länge des Polygonseiles nach

$$B_P = s + 2e_p \sin \frac{\alpha}{2} \quad (7).$$

Für die Stationierung der RVS sowie der Ein- und Ausläufe aus den Umlenkörpern folgen mit den Materialkennwerten der Randseilstränge weiter die (6) und (7) entsprechenden Längen im Ablängzustand zu

$$B_{I,0} = \frac{B_I}{\left(\frac{\Delta\sigma_I}{E} + 1\right) \cdot (1 + \epsilon_{pl}) \cdot \left(1 + \frac{\Delta\sigma_A}{E}\right)} \quad (\text{analog } B_{II,0}) \quad (8),$$

wobei der erste Nennerterm das elastische, der zweite das plastische Verhalten des Seilstranges und der dritte einen gemessenen Spannungsabfall infolge plastischer Verlängerung des mit den Randseilschellen belegten Seiles berücksichtigt, bzw.

$$B_{P,0} = \frac{B_P}{\left(\frac{\Delta\sigma_P}{E} + 1\right) \cdot (1 + \epsilon_{pl})} \quad (9),$$

und für die Festlängen in den Umlenkörperkonstruktionen und der Abspannungen gilt:

$$B_{n,I,0} = \frac{B_{n,I}}{\left(\frac{\Delta\sigma_I}{E} + 1\right) \cdot (1 + \epsilon_{pl})} \quad (\text{analog } B_{n,II,0}) \quad (10),$$

wobei  $n$  die Anzahl der Abspannungen und Umlenkungen angibt.

Mit (8) und (10) folgt dann die Stationierung der Achsen der RVS auf den Girlanden der Netzflächen I und II

$$L_I(x) = \frac{n=m+1}{\sum_{n=1}^{n=m+1}} B_{n,I,0} + \frac{i=x-1, k=x}{\sum_{i=1, k=2}^{i=x-1, k=x}} B_{I,0,ik} \quad (\text{analog } L_{II}(x)) \quad (11),$$

wobei  $m \dots$  Anzahl der Gusskörper zwischen  $x=2$  und  $x=k$ , und die Stationierung der für die Montage der RVS notwendigen Markierungen am Schellenanfang mit

$$L_I = L_I - a \quad (\text{analog } L_{II}) \quad (12),$$

wobei  $a$  die halbe Breite der RVS ist.

Die Gesamtlänge der Girlandenseile in den Netzflächen I und II, sowie des Polygonseiles folgt aus (11) zu

$$L_I = \frac{n=m+2}{\sum_{n=1}^{n=m+2}} B_{n,I,0} + \frac{i=k_{\max}-1, k=k_{\max}}{\sum_{i=1, k=2}^{i=k_{\max}-1, k=k_{\max}}} B_{I,0,ik} \quad (\text{analog } L_{II}) \quad (13).$$



Die Stationierung der zum Setzen der Randseilschellen RS notwendigen Markierungen auf den Girlanden der Netzflächen I und II zwischen den RVS  $i$  und  $j$  erfolgt nach Bild 3c aus

$$L_s = L_I - d + \sum_{m=0, n=1}^{m=y-1, n=y} b_{0, mn} \quad (14)$$

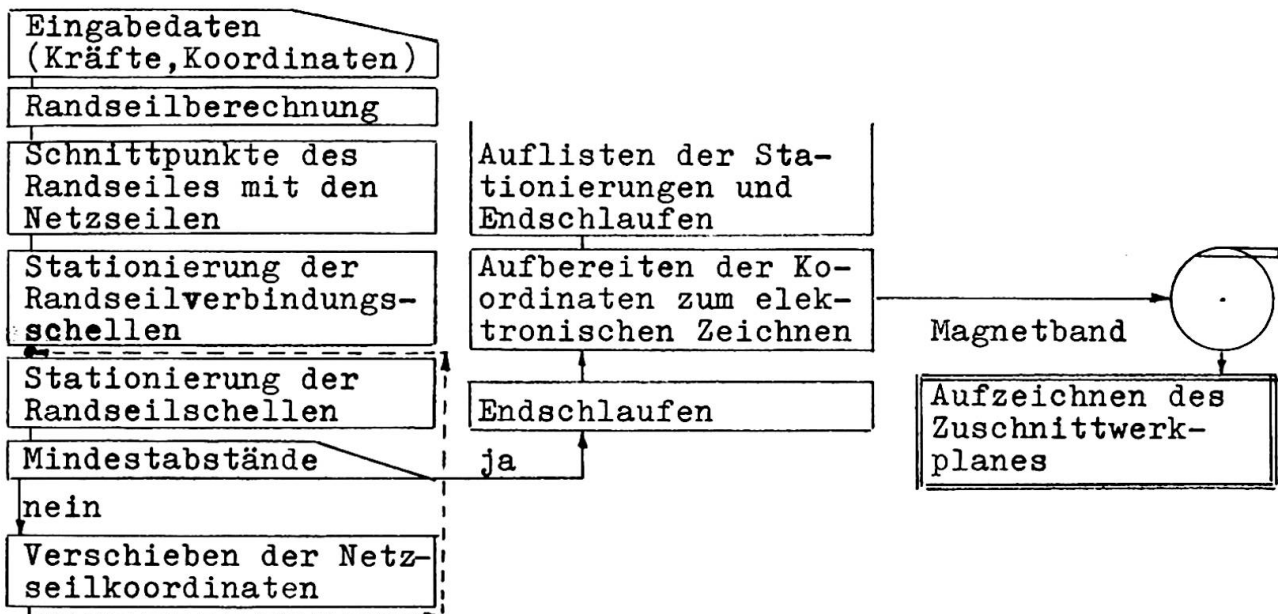
und aus den Koordinaten der Bolzenachse auf  $r_I$  und den entsprechenden Netzknotenpunkten errechnet sich schliesslich die Länge der Endschlaufen.

### 3.2.2. Computerbearbeitung

Da die vorhergehend angegebenen Rechenschritte beim Olympischen Dach für 224 Randseile – insgesamt mehr als 15 km lang mit 13.200 Endschlaufenanschlüssen und 17.600 Stationierungen – durchzuführen waren und die verschiedenen Randseilausführungen mit einem allgemeinen Rechenprogramm bearbeitet werden konnten, bot sich eine Computerbearbeitung an, bei der auch die Zuschnittswerkpläne von einer angeschlossenen, elektronisch gesteuerten Zeichenmaschine aufgezeichnet wurden.

Zu den angegebenen Rechenoperationen kamen noch konstruktive Bedingungen, so waren für die Abstände der Randseil- und Randseilverbindungs-schellen Mindestmasse einzuhalten. Dies bedeutete in manchen Fällen ein Verziehen der Netzseile aus den Achsen des gleichmaschigen Netzes heraus zum Rand hin. Diese zeichnerisch zeitraubenden Korrekturen wurden im gleichen Programmdurchlauf mit Hilfe entsprechender Kriterien erledigt.

Der Programmablauf für ein einfaches Randseil lässt sich in folgendem Flussdiagramm schematisch darstellen



Die EDV-Organisation konnte auf ein zeitliches Minimum von 24 Stunden beschränkt werden. Die Eingabedaten (Kräfte und Koordinaten) wurden mittags abgeliefert, nachmittags gelocht, nachts lief das Programm, am nächsten Morgen kamen die Listen ins Konstruktionsbüro und am gleichen Mittag die von einer elektronisch gesteuerten Zeichenmaschine gefertigten Zuschnittswerkpläne. In diesem zeitlichen Rhythmus konnten täglich mehrere Randseile berechnet werden.

### 3.3. Die praktische Durchführung

Im folgenden wird das schrittweise Vorgehen bei der Ausarbeitung des Ausführungszuschnittes für das Olympische Dach in München mitgeteilt.

#### 3.3.1. Netzseile

Festlegen der Spannschlösser zwischen Zwillingsseil und Endschleufe im Zuschnittsplan nach baupraktischen und gestalterischen Gesichtspunkten, wobei diese nicht vor der ersten vollen Masche und in einem konstanten Abstand vor dem letzten Knoten liegen sollen, und Eintragen in die Netzübersicht.

Abzählen der gleichen Maschen und Bestimmen der ungleichen Maschenweiten aus den Koordinaten des Netzsystems, wobei diese Längen um das Mass der elastischen Dehnung bei Vorspannung zu reduzieren sind, als Angaben für den Hersteller.

Die Längen der Endschlaufen (Netzseilenden) folgen bei bekannter Lage der Spannschlösser aus der Zuschnittsberechnung des Randes.

#### 3.3.2. Randseile

Einpassen der Knoten- und Umlenkkörper in die Zuschnittspläne und Einbinden der Auslaufpunkte in die Stationierung der Randseilachse; sofern notwendig Verziehen der Randseilachse.

Ermitteln der Seillängen in den Umlenkungen.

Austeilen der Verbindungsschellen bei n-Randseilsträngen nach statisch vorgegebenem Maximalabstand und so, dass keine Netzseile zu verziehen sind und dass eine annähernd gleichmässige Austeilung am Randseil und zwischen den anlaufenden Netzseilen gegeben ist.

Zahlenmässiges Festlegen der Abstände der Verbindungsschellen von den vorhergehenden Stationierungspunkten mit (1).

Bestimmen des Schnittwinkels zwischen benachbarten Netzflächen mit (2).

Festlegen der Lage der einzelnen Randseile im Raum und gegenüber der Randseilachse nach Bild 3b.

Zusammenstellen der Eingaben für die Computerrechnung: Koordinaten der Punkte auf der Randseilachse mit fortlaufender Nummerierung, Längen in den Abspannungen und Umlenkungen, Stationierung der Randseilverbindingsschellen, Vorspannkräfte in den einzelnen Randseilsträngen, Winkel zwischen den Netzflächen und Flächenvorspannung in den Netzen je Schellenbereich, Abstände der Randseile von der Randseilachse an jeder Verbindungsschelle und Koordinaten der beiden ersten anlaufenden Knotenpunkte von jedem Netzseil, die, wenn nicht bekannt, aus den Zuschnittsplänen mit einem Digitalisiergerät abgegriffen werden können, sowie Lage der Spannschlösser.

Aus der Computerrechnung folgt dann die Randseilgesamtlänge, die exakte fortlaufende Stationierung der Randseilverbindingsschellen und der Randseilschellen mit den zugehörigen Netzseilnummern, sowie die Endschlaufenlängen aufgelistet als Angaben für den Hersteller.

### 3.3.3. Abspannseile

Bestimmen der Längen aus den Koordinaten der Systempunkte mit Berücksichtigung ihrer baulichen Durchbildung, des Durchhanges auf freier Strecke und der Vorspannkraft.

## 4. Erfahrungen bei der Anwendung in München

### 4.1. bei der Zuschnittsausarbeitung

Die ausschliesslich rechnerische Methode zur Ausarbeitung des Ausführungszuschnittes ist nur mit Vorbehalt zu empfehlen, denn sie ist schwerfällig beim Eingreifen, wenn notwendige konstruktive Änderungen dies erfordert.

### 4.2. bei der Montage

Der geplante Spannungszustand lässt sich nicht exakt realisieren. Als eine Ursache können die unterschiedlichen Toleranzen im E-Modull bei den Rand- und Netzseilen angesehen werden. In den Netzseilen sind daher für Korrekturen am Bau Spannschlösser sinnvoll anzuordnen.

Mit Spannschlössern entlang des Randes, wie sie in München die bauliche Durchbildung der Endschlaufen bedingte, können aber allein Einflüsse aus unterschiedlichen Toleranzen und Ungenauigkeiten an der Nahtstelle Netz-Randseil ausgeglichen werden. Es ist daher fallweise zu überlegen, die Netzfläche durch Spannschlossreihen zu unterteilen, um mit diesen vorhandene Fehler verkleinern zu können.

## Literaturnachweis

- H.Egger, E.Haug, F.Leonhardt: Der dt.Pavillon ...  
'Der Stahlbau' 1968, Heft 4 und 5, Wilhelm Ernst u.Sohn  
E.Haug, L.Medlin, F.Otto: Protokoll über die Arbeiten des Institutes für leichte Flächentragwerke am dt.Pavillon (nicht im Handel)

## Zusammenfassung

Es ist möglich, aus den Raumkoordinaten des Systemzuschnittes sämtliche Seillängen mit Berücksichtigung der Vorspannkraft und der konstruktiven Durchbildung des Netzes elektronisch exakt zu berechnen. Es ist aber nicht möglich, den geplanten Vorspannzustand am Bau ohne Nachstellmöglichkeiten exakt zu realisieren.