

Zeitschrift: Bauen + Wohnen = Construction + habitation = Building + home : internationale Zeitschrift

Herausgeber: Bauen + Wohnen

Band: 30 (1976)

Heft: 11

Artikel: Computerzeichnungen als Hilfsmittel für den Architekten = Schémas [i.e. Schèmes] d'ordinateurs aidant l'architecte = Computer sketches aids for the architect

Autor: Linkwitz, Klaus / Preuss, Hans-Dieter

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-335562>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

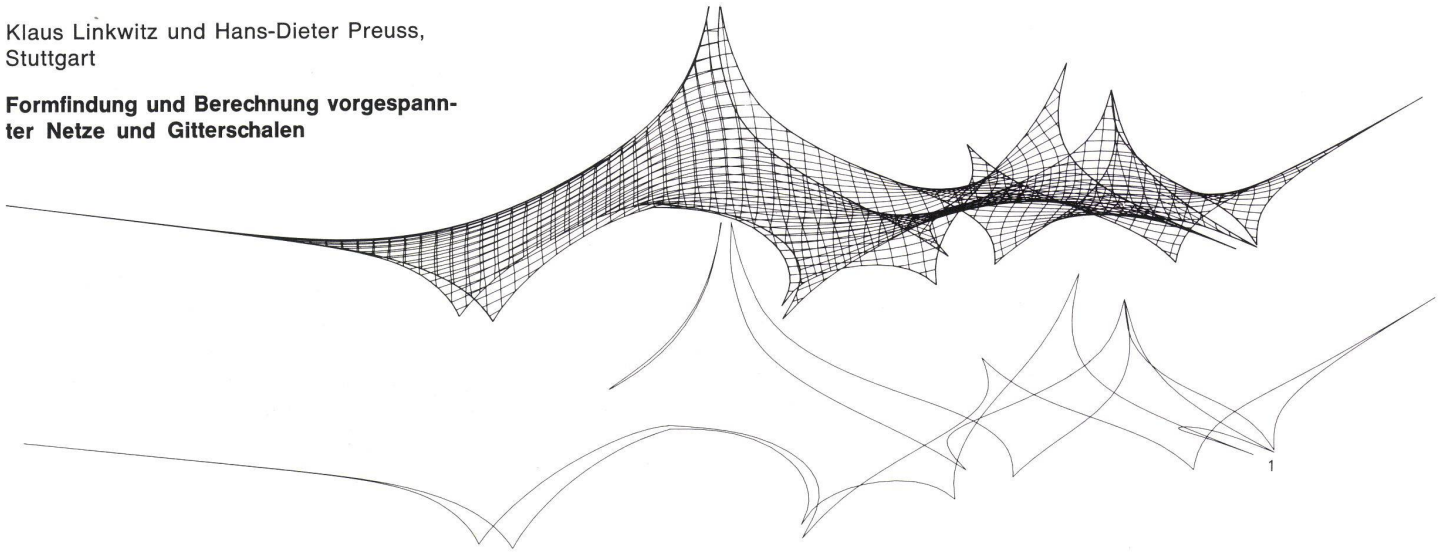
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Computerzeichnungen als Hilfsmittel für den Architekten

Schémas d'ordinateur aidant l'architecte
Computer sketches aids for the architect

Klaus Linkwitz und Hans-Dieter Preuss,
Stuttgart

Formfindung und Berechnung vorgespannter Netze und Gitterschalen



Die normalen zeichnerischen Hilfsmittel des Architekten beim Entwerfen sind Zeichnung und Skizze. Diese Mittel reichen nicht aus, wenn es um die Entwicklung und Darstellung doppelt gekrümmter Seilnetze geht. Computerzeichnungen sind eine wertvolle Entwurfshilfe beim Formfindungsprozeß.

Les moyens d'expression normaux de l'architecte projeteur sont le dessin et l'esquisse. Lorsqu'il s'agit de développer et de représenter des nappes de cables à double courbure ces moyens ne suffisent plus. Les dessins à l'ordinateur sont un auxiliaire précieux lors de la recherche de ces formes.

The architect's normal tools when designing are the drawing and the sketch. However, these are not sufficient when there is involved the development and representation of double-curved mesh structures. Computerized drawings are a valuable design aid in the projecting of such shapes.

4
Perspektive der Multihalle in Mannheim.
Perspective de la «Multihalle» de Mannheim.
Perspective view of the "Multihalle" in Mannheim.

5-8
Entwicklung einer Hängeform durch Verschiebung der Aufhängepunkte in Richtung der Diagonalen.
Développement d'une forme suspendue par translation des points de suspente dans le sens des diagonales.
Development of a suspended structure by shifting the suspension points diagonally.

9-11
Vorstudie zu einem Radialnetz.
Etudes préliminaires pour une nappe radiale.
Preliminary study of a radial mesh structure.

Architekten und Ingenieure sind daran gewöhnt, Bauwerke und Projekte mit zeichnerischen Hilfsmitteln zu planen und zu entwerfen. Aus der inneren Vorstellung möglicher Lösungen der Bauaufgabe und der Erfahrung entstehen zunächst ungefähre, skizzenhafte Entwürfe, aus denen im weiteren Prozeß der Bearbeitung der baureife Entwurf mit allen Details und allen Detaildarstellungen für die Ausführung hervorgeht.

Würde man versuchen, in dieser Arbeitsweise ein vorgespanntes Seilnetz oder ein Hängernetz zu planen und zu entwerfen, sähe man sich rasch unüberwindlichen Hindernissen gegenüber: Netzform, geometrische Abmessungen der Netzelemente und die in ihnen wirkenden Kräfte sind untrennbar miteinander verbunden. Es ist nicht möglich, nur skizzierend und zeichnend baubare Formen zu finden. Untrennbar sind im Prozeß der Formfindung drei Problemkreise miteinander verknüpft: Die Form muß gleichzeitig den Ansprüchen des Architekten nach Gestalt und Funktion, denen des Ingenieurs nach Konstruierbarkeit und Sicherheit und denen des Statikers nach von der Konstruktion aufnehmbaren inneren Kräften erfüllen. Dabei ergeben sich insbesondere vorgespannte Seilnetze als Gleichgewichtsfiguren der im Netz wirkenden Vorspannkräfte, Hängernetze als Gleichgewichtsfiguren aus Eigengewicht und der durch das Eigengewicht erzeugten Kräfte im Netz. Formstudien ließen sich deshalb zunächst nur an realen Modellen durchführen. Die möglichen Formen für den deutschen Pavillon 1967 in Montreal, die Olympiadächer 1972 in München und ein Hängernetz als Umkehrform der Multihalle 1975 in Mannheim wurden deshalb – in verschiedenen Stufen der Genauigkeit – anhand von Modellen untersucht und erarbeitet.

1-3
Grundriß und Perspektiven von unterschiedlichen Standpunkten beim Zwischenteil des Olympiadaches in München.

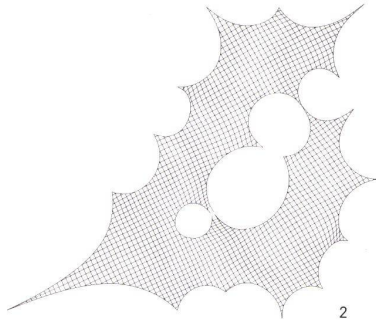
Plan de la partie intermédiaire du toit olympique de Munich avec vues perspectives à partir de plusieurs points de vue.

Plans and perspective views of the intermediate part of the Olympic roof in Munich from various angles.

Während der Arbeiten zu den Münchner Dächern entstanden mathematisch-numerische Methoden zur analytischen Berechnung von Gleichgewichtsfiguren sehr großer Netzstrukturen. Damit hat man heute die Möglichkeit, sich im Prozeß der Formfindung mit überschlüssigen Studien an einfachen Modellen zufriedenzugeben und die Verbesserung und Abänderung der Form mit Hilfe des Computers fortzusetzen oder, noch einen Schritt weiter, auch im Gleichgewicht befindliche Ausgangsformen vom Computer erzeugen zu lassen. Unerläßliches Hilfsmittel für diese Arbeitsweise ist die Computergraphik: vorläufige, Zwischen- und Endergebnisse der rechnerischen Bearbeitungsschritte werden in automatisch mit dem Plotter hergestellten Zeichnungen oder auf dem Bildschirm sichtbar gemacht und sind gleichzeitig Grundlage zur Beurteilung des bisherigen Ergebnisses und möglicher Verbesserungen. Gegenüber der manuellen Zeichnung und auch gegenüber dem Modell gewinnt man besonders in fortgeschrittenen Entwurfsstadien weitere Vorteile: Das Netz, einmal im Computer gespeichert, kann in beliebigen Ansichten und beliebigen Maßstäben dargestellt werden; es können Perspektiven von beliebigen Standpunkten gezeichnet werden, und schließlich hat man durch die Verknüpfung von zwei Perspektiven auch die Möglichkeit der stereoskopisch-räumlichen Betrachtung.

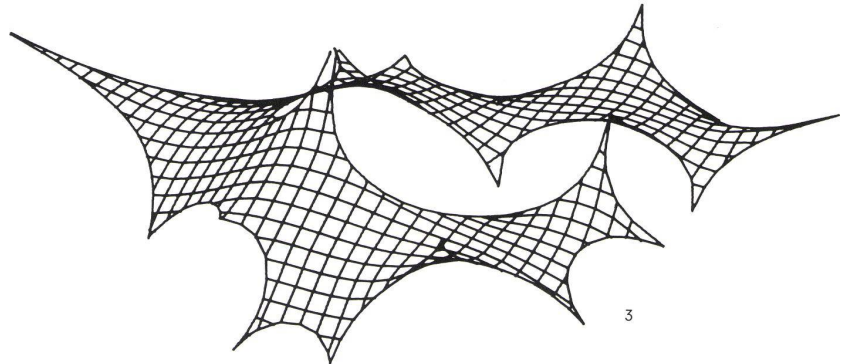
Die folgenden Beispiele sind Arbeiten von Mitarbeitern des Instituts für Anwendungen der Geodäsie im Bauwesen (Prof. Dr.-Ing. Klaus Linkwitz) der Universität Stuttgart entnommen, die im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 64 »Weitgespannte Flächentragwerke« und praktischer Arbeiten die Möglichkeit hatten, das Hilfsmittel Computerzeichnungen zu untersuchen und anzuwenden.

Beispiele für (räumliche) Perspektiven
[11, 12]



Die zeichnerische Konstruktion perspektiver Bilder ist sehr aufwendig. Liegen dagegen die Koordination aller Raumpunkte eines Netzes (im Computer) vor und ist auch durch die vorausgegangene analytische Berechnung des Netzes bekannt, in welcher Weise diese Raumpunkte mit Seilstücken verbunden werden müssen, dann läßt sich das perspektive Bild jedes Raumpunktes berechnen als Durchstoßpunkt einer räumlichen Geraden vom Raumpunkt zum frei gewählten perspektivischen Zentrum durch die ebenfalls frei wählbare räumliche perspektive Abbildungsebene.

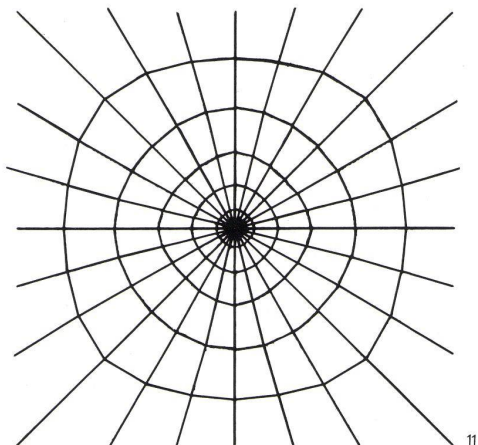
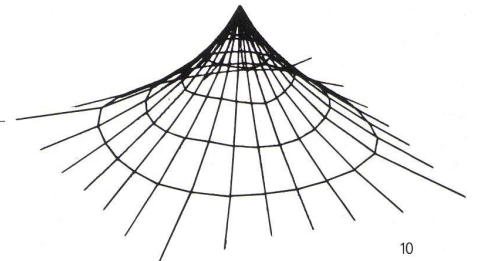
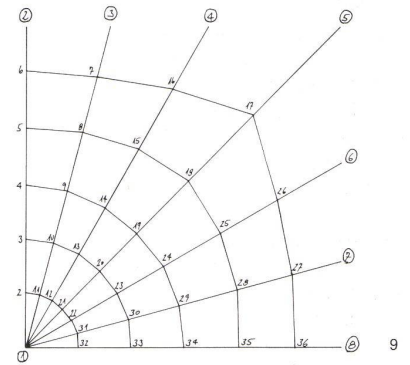
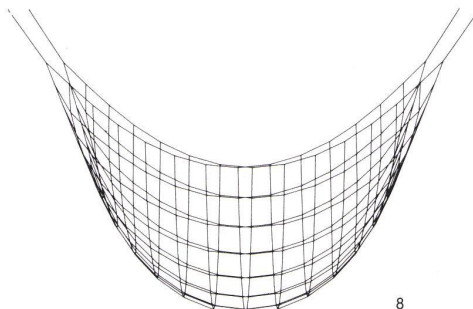
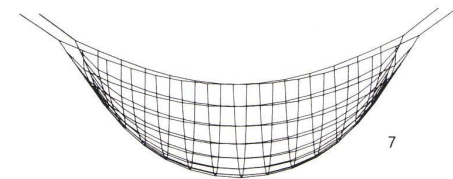
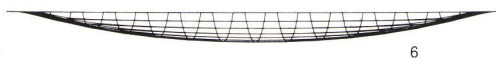
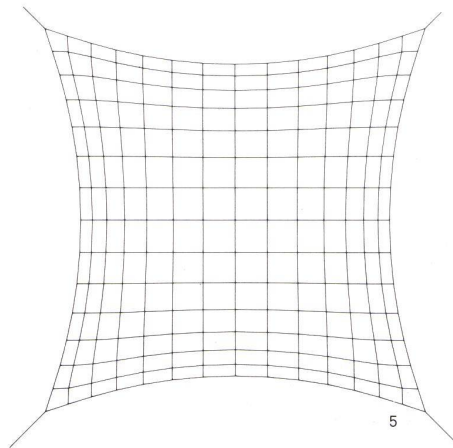
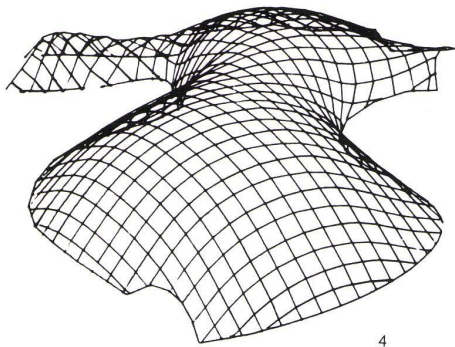
Die abgebildeten Punkte werden in der Abbildungsebene in gleicher Weise durch die Seilstücke darstellenden Linien verbunden wie im Originalnetz, und alles zusammen wird im Plotter gezeichnet. Die Berechnung und Zeichnung von zwei Perspektiven mit verschiedenen perspektivischen Zentren eines Objektes erlaubt eine dreidimensionale Betrachtung mit einem Stereoskop oder einer Anaglyphenbrille. Bild 2 zeigt den Grundriß, Bild 1 und 3 sind Perspektiven (von unterschiedlichen Standpunkten aus) des Zwischenteils der Olympiadächer München.



Beispiele für Formfindungsstudien
Hängenetze [7, 16]

Hängenetze können nach Umkehrung als Ausgangsform für Gitterschalen betrachtet werden. Ihre Form kann entweder mit Hilfe von Hängemodellen gesucht werden, oder sie lassen sich mit Hilfe eines Computerprogramms nach Vorgabe von Festpunkten und Netzstruktur im Rechner erzeugen und dann automatisch zeichnen. Ein Beispiel, bei welchem beide Techniken kombiniert wurden, sind die Gitterschalen der Bundesgartenschau Mannheim. Abbildung 4 zeigt eine Perspektive der Multihalle.

Die Bildserie 5 bis 8 zeigt als weiteres Beispiel eine Hängeform mit 14x14 Maschen, wobei alle Typen aus der Grundform der Abbildung 5 durch Verschiebung der Aufhängepunkte in Richtung der Diagonalen rechnerisch bestimmt und dann automatisch gezeichnet wurden. Die Verschiebung erfolgt in der Ebene der Aufhängepunkte. Die Größe der Verschiebungen ist für alle 4 Aufhängepunkte jeweils gleich.



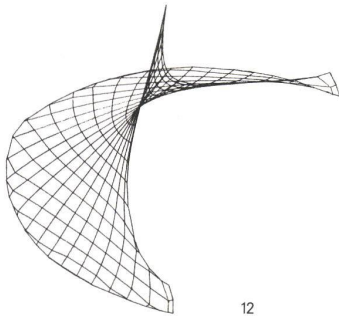
Die Bilder 9 bis 11 zeigen die Vorstudie für ein Radialnetz, welches ohne Modell im Computer nach Vorgabe von »Kraftdichten« in den Knotenverbindungsstücken und einer Verknüpfungsvorschrift generiert wurde.

Unter Kraftdichte versteht man einen Schätzwert für das Verhältnis der im Seilstück zwischen benachbarten Netzknoten wirkenden Zugkraft und der Länge dieses Seilstückes. Die gegenseitige Zuordnung benachbarter Netzknoten und der sie verbindenden Seilstücke und damit eine Be-

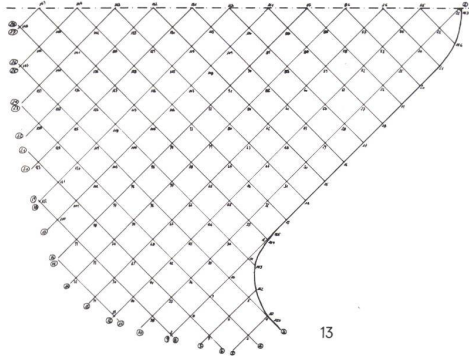
schreibung der Ordnung aller Punkte und Seilstücke im Netz wird durch eine Verknüpfungsvorschrift von Punkt- und Seilstücknummern (Abb. 9, 16, 17) gegeben. Diese Vorgaben, ergänzt durch die Lage der Festpunkte, reichen aus, um ein Netzwerk fast beliebiger Form und Größe im Computer zu erzeugen.

Die Bilder 12 bis 16 veranschaulichen dies am Beispiel der Studie »Moschee«, einem kuppelartigen Netzwerk. In Abb. 12 erkennt man das zunächst noch schlaff hängende Netz, so wie es mit den gewählten Kraftdichten und der Verknüpfung (Abb. 13) generiert worden ist. Aus dieser schlaffen Form wurde dann eine Kuppelform dadurch erzeugt, daß in jedem Knotenpunkt eine nach außen weisende zusätzliche Kraft angebracht wurde.

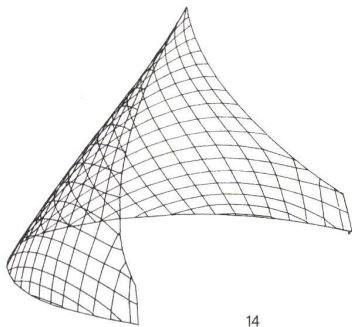
Durch Änderung der Richtung und der Größe dieser Zusatzkräfte wurde die ursprünglich schlaffe Form im Computer »aufgeblasen«. Die Abb. 14–16 sind Perspektiven, welche den Vorgang des allmählichen Aufblasens veranschaulichen.



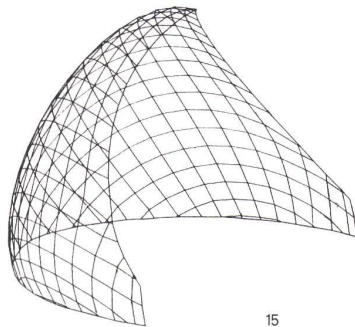
12



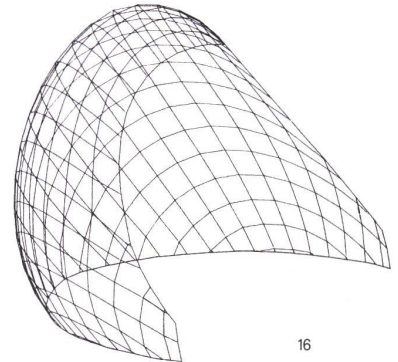
13



14



15



16

Beispiel Schwimmhallenüberdachung [8]

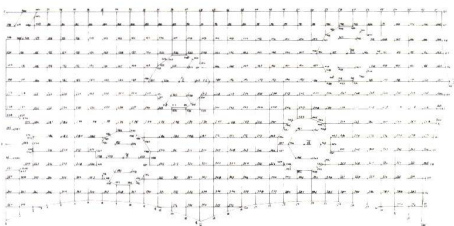
Auf der Grundlage eines Tüllmodells einer wandelbaren Membrane wurde die Festpunktlage eines Netzes abgemessen, das unter Ausnützung der Symmetrie der Konstruktion 1/4 der Membrane approximiert. Abb. 17 zeigt 1/4 der Figur und gleichzeitig die Verknüpfungsvorschrift. Dieses Netz wurde dann durch Anbringen von äußeren Kräften im Computer »gespannt«.

Abb. 18 zeigt eine Perspektive der symmetrisch zusammengesetzten Überdachung.

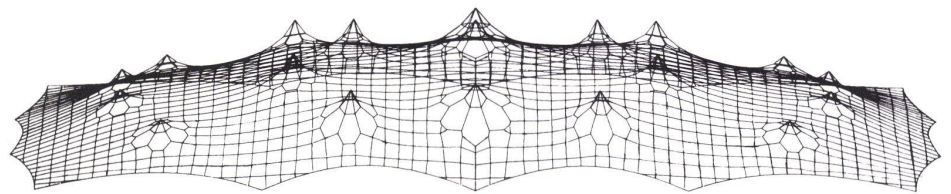
Durch Variation der vorgegebenen Kraftdichten kann z.B. der Übergang vom Quadratnetz zum Radialnetz an den Aufhängepunkten optimiert werden. Die Auswirkung einer solchen Änderung auf den Verlauf der Netzlinien wird wiederum mit Hilfe von Computerzeichnungen kontrolliert. Durch Änderung der Festpunktlage ergeben sich neue Formen, die anhand verschiedener automatisch gezeichneter Perspektiven beurteilt werden können.

12-16 Erzeugung einer Kuppelform im Computer aus dem Grundnetz durch nach außen wirkende Kräfte in jedem Knoten.
Détermination d'une coupole à l'aide de l'ordinateur en utilisant les forces extérieures appliquées à chaque nœud de la nappe de base.
Production of a dome with the aid of a computer starting from a basic mesh and working from the external forces applied to each node.

17, 18 Erzeugung einer Netzform durch Einwirkung von äußeren Kräften im Computer.
Détermination d'une structure en nappe au l'ordinateur à partir des forces agissant de l'extérieur.
Production of a mesh structure with the aid of a computer using external forces.



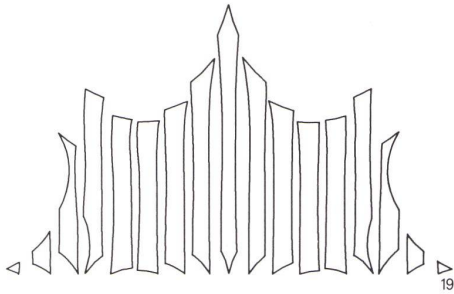
17



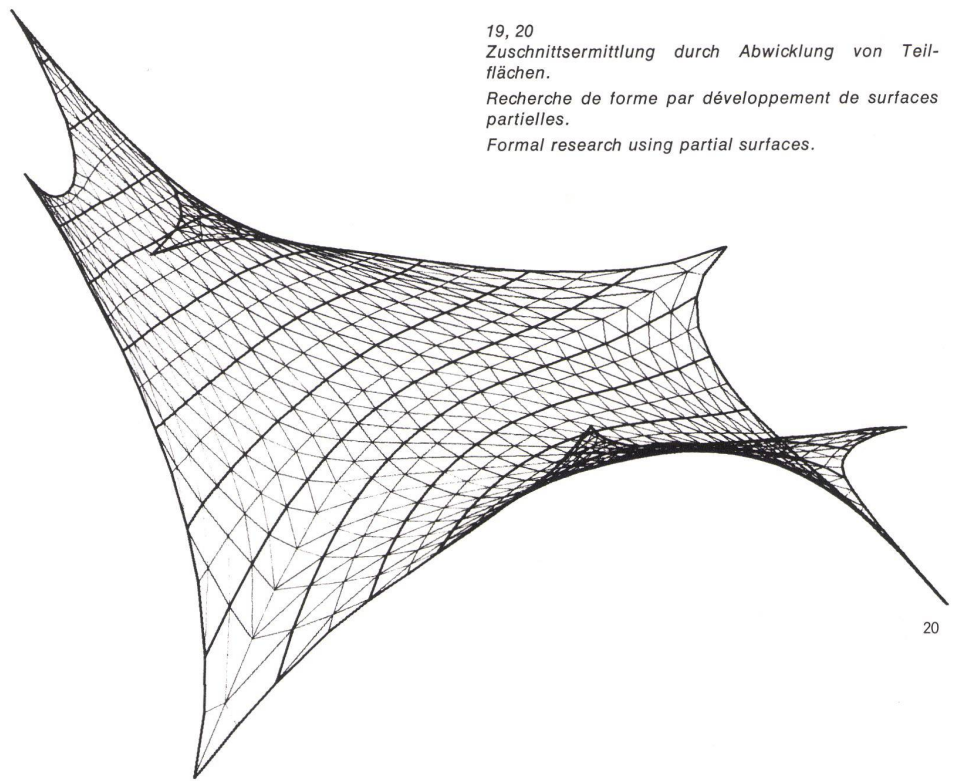
18

Beispiel für die Zuschnittsermittlung durch Abwicklung von Teilflächen einer Membrane [15]

Abb. 20 zeigt eine vorgespannte Membranüberdachung der Abmessungen 15 × 18 m, die als Studienarbeit der Harvard Universität entworfen wurde. Das Formmodell wurde vermessen, und nach Glättung der Meßdaten wurde die Membranfläche durch zusammenhängende, abwickelbare Streifen approximiert, die in der Abb. 19 wiedergegeben sind. Nach den Maßen dieser Streifen kann die Membrane konfektioniert werden.



Beispiele für Zuschnittspläne der Randzonen vorgespannter Netze [10, 17]



Nach der Berechnung des Netzes sind die Raumkoordinaten der Netzknoten bekannt; diese Zahlenangaben allein reichen aber zur Netzkonfektionierung nicht aus. Deshalb müssen die NetZRänder in möglichst verzerrungsfreien, großmaßstäbigen Zuschnittsplänen dargestellt werden. An den Knoten des Randseils greifen jeweils drei Seilstücke und damit drei Zugkräfte an, die im Gleichgewicht sind. Diese drei Kräfte liegen – vernachlässigt man das Eigengewicht im Lastfall Vorspannung, und das ist immer möglich – exakt in einer Ebene und können somit verzerrungsfrei

19, 20
Zuschnittsermittlung durch Abwicklung von Teilflächen.

Recherche de forme par développement de surfaces partielles.

Formal research using partial surfaces.

in diese abgebildet werden. Sukzessiv aufeinanderfolgende »3-Kräfte-Ebenen« lassen sich aneinandersetzen und bilden dann einen in der Nachbarschaft jedes Randseilknotens verzerrungsfreien Plan (Abb. 21). In dieser Weise wurden die Zuschnittspläne für die Olympiadächer München gerechnet, automatisch gezeichnet und durch Zahlenangaben vermaßt.

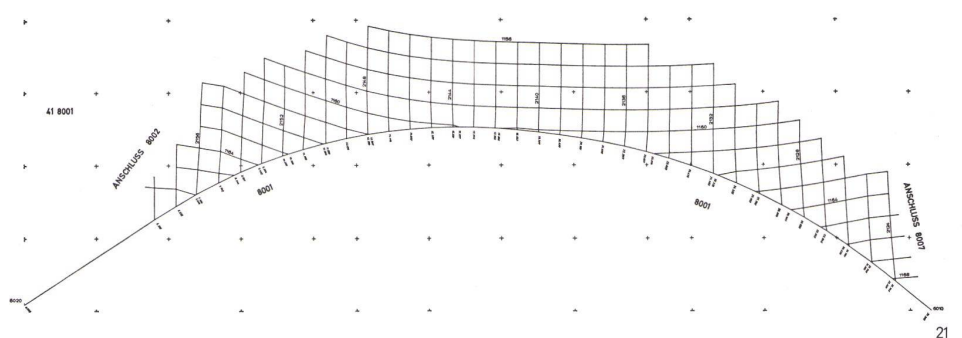
21
Zuschnittsplan der Randzone eines vorgespannten Netzes.

Plan de la zone de rive d'une nappe précontrainte.

Plan of the peripheral zone of a prestressed mesh structure.

Literaturhinweise

[1] Otto, F.: Zugbeanspruchte Konstruktionen, Bd. 2, Ullstein Verlag, Berlin 1966.
 [2] Leonhardt, F., und Schlaich, J.: Vorgespannte Seilnetzkonstruktionen – Das Olympiadach in München. Der Stahlbau, 1972, Heft 9.
 [3] Argyris, J. H., und Scharpf, D. W.: Berechnung vorgespannter Netzwerke. Bayerische Akademie der Wissenschaften, München, Sonderdruck 4 aus den Sitzungsberichten 1970.
 [4] Linkwitz, K., und Schek, H.-J.: Einige Bemerkungen zur Berechnung vorgespannter Seilnetzkonstruktionen. Ingenieur-Archiv 4/1971.
 [5] Schek, H.-J.: The Force Densities Method for Form Finding and Computation of General Networks. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 1974, Heft 3.
 [6] Argyris, J. H., Angelopoulos, T., und Bichat, B.: A General Method for the Shape Finding of Lightweight Tension Structures. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 3, No. 1, Jan. 1974.
 [7] Gründig, L.: Die Berechnung vorgespannter Seil- und Hängenetze unter Berücksichtigung ihrer topologischen und physikalischen Eigenschaften und der Ausgleichsrechnung. Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe C, Heft 216, München 1976, und Mitteilung 34/1975, SFB 64, Universität Stuttgart.
 [8] Gründig, L., und Hangleiter, U.: Numerische Erzeugung vorgespannter Netze. Arbeitsunterlagen SFB 64-Symposium, Universität Stuttgart 1976.
 [9] Böttinger, W.-U., und Linkwitz, K.: Die Erzeugung und Darstellung von gleichmaschigen Net-



zen auf ebenen und gekrümmten Flächen. Zeitschrift für Vermessungswesen 1972, Heft 8.

[10] Linkwitz, K., und Preuss, H. D.: Die Darstellung der Randzonen vorgespannter Seilnetzkonstruktionen in Zuschnittsplänen. Vorbericht zum 9. Kongreß der IVBH, Amsterdam, Mai 1972.
 [11] Schwenkel, D.: Räumlich-perspektive Darstellung von Bauwerken durch automatisch gezeichnete Anaglyphenbilder. Bildmessung und Luftbildwesen (BuL) 1972, Heft 3.
 [12] Böttinger, W.-U., Gründig, L., Hangleiter, U., Preuss, H. D., und Schwenkel, D.: Computerzeichnungen. Der Deutsche Baumeister, Heft 6, 1973.
 [13] Grieger, J.: Anwendung interaktiver Computer-Graphik für den optimalen Tragwerksentwurf. Arbeitsunterlagen SFB 64-Symposium, Universität Stuttgart 1976.
 [14] Schwenkel, D., und Bopp, H. P.: Mathematische Abbildungen weitgespannter Flächentragwerke. Arbeitsunterlagen SFB 64-Symposium, Universität Stuttgart 1976.
 [15] Schwenkel, D.: Geometrischer Zuschnitt von Membranen, abgeleitet von Modellmessungen. Arbeitsunterlagen SFB 64-Symposium, Universität Stuttgart 1976.
 [16] IL: Gitterschalen, Grid Shells. IL 10, Institut für Leichte Flächentragwerke, Stuttgart 1974.
 [17] Linkwitz, K.: Die Ermittlung des Zuschnitts für die Dächer der Olympiasportstätten München. Zeitschrift für Vermessungswesen, Heft 9 und 10, 1972.