

NUMERISCHE UND EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN ZUR UMFORMUNG EBENER IN DOPPELT GEKRÜMMTE FLÄCHENTRAGWERKE

Verfasser: Dipl.-Ing. Clemens F. Preisinger
Institut für Stahlbeton- und Massivbau, Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/212, 1040 Wien, Österreich

Referent: o.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Johann Kollegger, M.Eng.
Institut für Tragkonstruktionen, Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/E212, 1040 Wien, Österreich

Koreferent: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Dr.h.c. Ulrich Schneider
Institut für Hochbau und Technologie, Technische Universität Wien
Karlsplatz 13/E212, 1040 Wien, Österreich

KURZFASSUNG

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Umformung eben hergestellter Flächentragwerke in doppelt gekrümmte und somit nicht abwickelbare Strukturen unter der gezielten Anwendung äußerer Einwirkungen. Einer Darstellung der dazu erforderlichen Verfahrensschritte folgt die Beschreibung der grundlegenden Anforderungen hinsichtlich des eingesetzten Materials sowie der Geometrie der ebenen Ausgangsform. Letztere muss so beschaffen sein, dass sich die beträchtlichen Dehnungen der Mittelfläche, die im Zuge der Transformation von abwickelbarer zu nicht abwickelbarer Konfiguration auftreten, ausbilden können.

Die Ableitung der geometrischen Zusammenhänge zwischen doppelt gekrümmter und ebener Form erfolgt für den Spezialfall rotationssymmetrischer Schalen, die auch den Schwerpunkt der weiteren in dieser Arbeit angestellten Untersuchungen bilden. Deren verebnete Anfangsformen lassen sich in statischer Hinsicht vereinfacht als polar orthotrope Kreisplatten behandeln. Ausgehend von der Biegetheorie isotroper Kreisplatten für kleine Deformationen erfolgt die Erweiterung auf polar orthotropes Material sowie der Übergang zur Theorie flacher Schalen. Dies schafft die Voraussetzungen zur mathematischen Behandlung der umzuformenden Struktur am Anfang des Transformationsprozesses, wenn die auftretenden Verformungen noch klein sind.

Für die korrekte Beschreibung des Verhaltens der Struktur in späteren Stadien der Umformung muss statt der Plattenbiege- die Schalenbiegetheorie zur Anwendung

kommen. Diese wird für rotationssymmetrisch belastete Vieleckkuppeln und Drehschalen aus polar orthotropem Material formuliert.

Dem in dieser Arbeit beschriebenen Konzept zur Bemessung der ebenen Ausgangsformen, welches auf der Schalenbiegetheorie basiert, liegt die Tatsache zu Grunde, dass die im Zuge des Transformationsprozesses auftretenden Verformungen sich als Differenz zwischen bekannter Ziel- und Anfangslage berechnen lassen. Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit des in Fortran programmierten Bemessungsalgorithmus für linear sowie nichtlinear elastisches Materialverhalten erfolgt anhand mehrerer Beispiele. Zur Kontrolle der Ergebnisse dienen Vergleichsrechnungen mittels Finiter Elemente Methode.

Diese Arbeit widmet sich neben numerischen auch experimentellen Untersuchungen an Modellschalen aus Stahlbeton bzw. glasfaserbewehrtem Eis. Den Ausgangspunkt stellt eine übersichtsmäßige Beschreibung des Versuchsprogramms dar, welches Laborversuche an Schalen mit Anfangsdurchmessern von 5m aber auch Großversuche beinhaltet. Es folgt eine detaillierte Erläuterung der im Labor des Instituts für Tragkonstruktionen durchgeführten Experimente, sowie der daraus gewonnenen Erkenntnisse hinsichtlich konstruktiver Durchbildung der ebenen Anfangsformen und Ablaufsteuerung des Umformungsprozesses.

ABSTRACT

This thesis deals with the transformation of flat slabs to double bent shells by means of the application of external forces. First a description of the basic principle and steps necessary to achieve that transformation is given. A discussion of the conditions to be met by the materials and geometry used for the initially plain structure follows. The geometry must be such, that the strains in the middle surface of the structure, which develop in the course of transformation to its final double bent configuration, are not inhibited.

The geometrical connection between flat and double bent surfaces gets mathematically explored for the special case of axisymmetric shells. On these rests the main emphasis of the investigations contained in this thesis. Their flat initial forms can be conceived as polar orthotropic circular plates. Starting from the bending theory of isotropic plates with small deflections, extensions are made that allow for the inclusion of polar orthotropic material behaviour as well as the consideration of flat shell problems. This paves the

ground for the mathematical treatment of slabs at the beginning of the transformation process when the maximum deformation is still small.

A correct description of such structures at later stages of their transformation to shells necessitates the application of shell- instead of plate-bending-theory. Such a theory is formulated for the case of rectangular domes as well as for axisymmetric shells with polar orthotropic material behaviour under the action of axisymmetric loads.

The presented design concept for the initially flat structures is based upon shell-bending-theory and on the fact that the deflections occurring during the transformation from flat to double curved configuration can be calculated as the difference between target- and initial geometry. The performance of the design algorithm which was implemented by using Fortran is demonstrated by solving several design problems involving linear as well as non-linear elastic material behaviour. The resulting designs are checked by using them as input for subsequent Finite Element calculations.

This thesis is not only devoted to numerical but also includes experimental investigations comprising model shells made of reinforced concrete and ice reinforced with glass-fibre-mats. A description of the experimental program which included small shells of initial diameters of 5m as well as larger scale experiments serves as the starting point. This is followed by a detailed account of the experiments performed at the laboratory of the Institute for Structures and the conclusions to which they led regarding structural design of the initially flat slabs and fine tuning of the transformation process.