

BEITRAG ZUR SPANNUNGS- UND VERFORMUNGSANALYSE  
MEHRSCHICHTIGER FLÄCHENTRAGWERKE

ABHANDLUNG

zur Erlangung des Titels eines  
Doktors der Technischen Wissenschaften  
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN  
HOCHSCHULE ZÜRICH

vorgelegt von

GEORG MARCEL DESSERICH

dipl. Bau-Ing. ETH

geboren am 8. Mai 1954

von Luzern und Zürich

angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. A. Rösli, Referent

dipl. Bau-Ing. ETH Urs Meier, Korreferent

Zürich 1983

## ABSTRACT

This thesis deals with composites made of unidirectional fibre-reinforced plies.

The objective is to formulate the behaviour of the composite based upon the respective behaviour of the individual plies. Specifically, the influences of the content and orientation of the fibres, the ply thickness, the stacking sequence of the composites, etc. will be considered for quantitatively.

In the first part, a procedure is presented for solving problems involving linearly elastic composites in the form of membranes, plates and shells. The proposed procedure will be verified by means of practical examples from the fields of tank, apparatus and light construction, as well as test results of experiments on E-glass fibre reinforced epoxy resins. A computer program based on this procedure will be described.

In the second part, the calculation of biaxial creep and relaxation problems involving composite orthotropic membrane structures will be presented under the assumption of linear visco-elasticity. To evaluate the long-term behaviour of diversely fabricated composites over their entire loading periods, a computer program was developed, which allows the step-wise calculation based on the creep behaviour of a unidirectional ply.

Thus, an optimum design of the composite, including consideration of the long-term behaviour can be achieved by variation of the fibre arrangement.

The calculation method was controlled with creep tests over a period of 0 to 1'000 hours using typical composites made of E-glass fibre reinforced epoxy resins. The test results show good agreement with the calculated values.

## 1. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit werden mehrschichtige Flächentragwerke aus faserverstärkten Kunststoffen, aufgebaut aus mehreren unidirektionalen Einzelschichten (UD-Schichten), untersucht.

Der Grundgedanke besteht darin, aus dem Verhalten der Einzelschicht (UD-Schicht) durch geeignete Ansätze auf das Verhalten des Mehrschichtenverbundes (MSV) zu schliessen. Dabei werden Einflüsse von Gehalt und Orientierung der Fasern, Schichtdicke und Verbundaufbau sowie Belastungsdauer usw. rechnerisch erfasst.

In einem ersten Teil wird das Vorgehen zur Lösung linear elastischer, mehrschichtiger Scheiben-, Platten- oder Schalenprobleme dargestellt. Anhand von Beispielen aus der Praxis im Behälter-, Apparate- und Leichtbau sowie von Versuchsergebnissen aus Experimenten an E-Glasfaser-verstärktem Epoxidharz wird die vorgeschlagene Berechnungsmethode überprüft. Das nach diesem Verfahren arbeitende Computerprogramm \*VERBUND\* zur elastischen Spannungs- und Verformungsanalyse mehrschichtiger Flächentragwerke aus Faser-verbundwerkstoffen wird vorgestellt.

In einem zweiten Teil wird die Berechnung des zweiachsigen Kriech- und Relaxationsproblems bei mehrschichtigen orthotropen Scheibentragwerken unter Annahme linearer Viskoelastizität aufgezeigt. Zur Beurteilung des Langzeitverhaltens von verschiedenen aufgebauten Mehrschichtenverbunden wurde das Rechenprogramm \*REKURSION\*S\* entwickelt, welches die schrittweise Berechnung der Verformungen über die ganze Belastungszeitspanne aus dem Kriechverhalten der unidirektional verstärkten Schicht ermöglicht. Die Kriech Eigenschaften der Einzelschichten können mittels analytischer Funktionen oder mittels experimentell bestimmter Messreihen berücksichtigt werden.

Damit kann der Mehrschichtenverbund durch Variation der Faseranordnung auch unter Berücksichtigung des Langzeitverhaltens optimal ausgelegt werden.

Mittels Zug-, Druck- und Torsionsversuchen wurden die Kriechfunktionen  $\Phi_{\parallel}(t)$ ,  $\Phi_{\perp}(t)$ ,  $\Phi_{\parallel\perp}(t)$  und  $\Phi_{\#}(t)$  an Flach- und Rohrproben bestimmt. Mit diesen Kriechfunktionen wurden für verschiedene praxisnah aufgebaute Mehrschichtenverbunde aus E-Glasfaser-verstärktem Epoxidharz die Kriechfunktionen des Mehrschichtenverbundes rechnerisch mit dem Computerprogramm \*REKURSION\*S\* bestimmt und mit den Resultaten aus Kriechversuchen in einem Zeitraum von 0 - 1'000 h überprüft. Die Versuchsergebnisse zeigen sowohl für Zug-, Druck- wie auch Torsionsversuche eine sehr gute Übereinstimmung mit den berechneten Werten.

Die vorgestellten Computerprogramme sind bezüglich Eingabeschema, Programmstrukturen und Steuerkarten ganz auf den Gebrauch in der Praxis zugeschnitten.