



## Motivation und Zielsetzung

Die Natur war immer eine Inspirationsquelle für das menschliche Schaffen. Während die Imitation der Natur sich lange Zeit auf die äußere Gestalt beschränkte, wendet sich die moderne Strömung der Biomimetischen Architektur den Strukturen und den ihnen zugrunde liegenden Techniken zu. Bionische Membranen stellen die Basis für die Modellierung der pflanzlichen Welt. Bi- und Multi-Layer-Strukturen bieten die Möglichkeit, die Dehnung von Schichten auszunutzen, damit die Pflanzen sich entsprechend der Unterscheidung der atmosphärischen Gegebenheiten wie Temperatur, Feuchte etc. bewegen können.

In dieser Arbeit wurden verschiedene Methoden verwendet, um diese Strukturen zu modellieren und deren Bewegung zu simulieren. Anschließend wurden die Schwächen und die Stärken der Methoden abgewägt.

## Verwendete Methoden

- Mit seiner 1925 veröffentlichten *Analysis of Bi-Metal Thermostats* legte Stephen P. Timoshenko einen Grundstein für die Betrachtung von Bi-Layer-Strukturen. In dieser analytischen Lösung wurden die Differenz der Ausdehnungskoeffizient, Elastizitätsmodul und die Dicke jeder Schicht berücksichtigt und damit die Wirkung anderer Materialparameter vernachlässigt.
- Neben Timoshenkos analytischer Lösung wurden zwei unterschiedliche Modellierungsvarianten mit Finiten Elementen in ANSYS verwendet:
- SHELL181 eignet sich für Schalenstrukturen und lässt die Bildung von Schalen mit mehreren Schichten zu. SHELL181 baut auf der schubweichen Schalentheorie auf.
- SOLID185 ist ein 3D-Kontinuumselement und lässt daher bei der Modellierung einer Schalenstruktur auch Dickenänderungen zu. Durch mehrschichtige Anordnung der Elemente sind auch Knicke in der Kinematik über die Dicke möglich.

## Beispiel eines einfachen Balkens

Zwei unterschiedliche Streifen aus isotropen Materialien bilden ein miteinander verschmolzenes Band. Das Band wird als einfacher Balken gelagert.

Die Krümmung aus Timoshenkos Analyse und SHELL181 stimmen überein, solange die Querdehnungszahl gleich Null gesetzt ist. Währenddessen weisen die Ergebnisse von SOLID185 leichte Abweichungen auf. Beim Einsetzen der Querdehnungszahl schrumpft die Krümmung bei SHELL181 schneller als bei SOLID185.

Die Untersuchungen zeigen, dass SOLID185 ein feineres Netz benötigt als SHELL181, um zuverlässige Ergebnisse zu erhalten.

## Vergleich mit dem Praxisbeispiel

Ein Band aus zwei Streifen, einer aus Buche und der andere aus Fichte, wird als Kragarm gelagert. Das Band wird unterschiedlichen Luftfeuchten ausgesetzt und die daraus resultierenden Krümmungen beobachtet.

# Methoden zur Modellierung und Simulation von Bi-Layer-Strukturen in der bionischen Architektur

Beim Einsetzen der Angaben des Praxisversuchs in die analytische Lösung von Timoshenko, SHELL181 und SOLID185, lag die Krümmung für alle drei Fälle im Toleranzbereich der Ergebnisse vom Praxisversuch.

Allerdings konnte man den Ergebnissen des Praxisversuchs näherkommen, je größer die Querdehnungszahl gesetzt wurde.

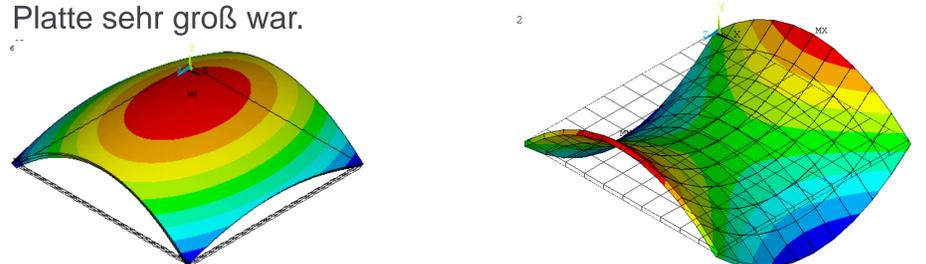
## Plattenbeispiel

Es wurde eine quadratische Platte aus zwei unterschiedlichen orthotropen Materialien, die in zwei Schichten geteilt sind, modelliert.

Die Wirkung der Längenveränderung in einer Richtung und der Ausdehnungskoeffizienten, die Querdehnungszahlen, der Schubmoduln, E-Moduln in allen drei Richtungen auf die Verschiebung bzw. Krümmung auf die Platte wurde untersucht.

Während SHELL181 eine ähnliche Wirkung der Parameter auf die Verschiebung zeigte wie im Beispiel des einfachen Balkens, wirkten die Parameter  $E_y$ ,  $\alpha_y$ ,  $\nu_{xy}$ ,  $\nu_{yz}$ ,  $G_{xy}$  und  $G_{yz}$  nicht auf die Verschiebung, was die Genauigkeit der Ergebnisse beeinträchtigte.

Bei SOLID185 wirkten fast alle Parametern auf die Verschiebung. Die Wirkung war bei den meisten sehr klein. Überraschend war, dass der E-Modul ein komplexeres Verhältnis zur Verschiebung als bei den früheren Untersuchungen aufwies. Die starke Netzverfeinerung stellte ein Problem dar, da die Anzahl der Elemente zum Aufbau der Platte sehr groß war.



## Literatur

Timoshenko, Stephen P.: *Analysis of Bi-Metal Thermostats*. (1925).

„SHELL181“: <https://bit.ly/3DfL0F3>.

„SOLID185“: <https://bit.ly/3p4dMmO>.