



# Modellierung und Analyse von Wabenstrukturen

## Kurzfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Wabenstruktur untersucht, die von einer Bienenwabe inspiriert ist. Die zwei Hauptbelastungsrichtungen, in der Ebene und quer zur Ebene, werden näher betrachtet. Dazu werden die orthotropischen Materialkonstanten hergeleitet und die Deformation für eine Druckbeanspruchung erläutert. Außerdem wird für beide Belastungsrichtungen das Knickversagen analysiert. Für eine Belastung quer zur Ebene wird die Wabenstruktur wie ein Eulerstab betrachtet, indem für verschiedene Geometrien die Knicklängen berechnet werden. Für eine Belastung in der Ebene wird die Wabenstruktur wie ein Scheibentragwerk behandelt, bei dem ebenfalls Knicklängen graphisch und analytisch ermittelt werden. Zudem wird ein Optimierungsprozess für eine Sandwichplatte mit einem Wabenkern entwickelt. Der Hauptteil dieser Arbeit besteht darin, ein Modell mit einem kommerziellen FEM-Programm zu vernetzen und zu untersuchen. Dabei werden die Ergebnisse ausgewertet und mit einem Monolithen verglichen. Zusätzlich wird eine Validierung der FEM-Berechnung mit einem Stabwerksprogramm durchgeführt. Außerdem wird eine Modale Analyse für die Berechnung der Eigenfrequenzen beschrieben. Ein weiterer Aspekt liegt darin, die neu gewonnenen theoretischen Kenntnisse mit einem Praxisbeispiel zu verbinden. Dafür wird ein Wabenhaus aus Stahlbeton in einem FEM-Programm modelliert, das mit Boden- und Deckenelementen aus Sandwichplatten konstruiert wird.

## Auswertung der Ergebnisse

Folgende Ergebnisse werden für beide Belastungsrichtungen bei der Wabenstruktur und beim Monolithen in ANSYS-APDL berechnet:

- Verschiebungen
- Normal- und Schubspannungen
- Eigenfrequenzen und Eigenformen
- Kritische Spannungen

## Tragverhalten der Wabenstruktur

**Belastung quer zur Ebene** – Erweist sich als ungünstig

**Belastung in der Ebene** – Durch den Vergleich mit einem Monolithen ergibt sich die Wabenstruktur für diese Belastungsrichtung als vorteilhaft. Das Verhältnis von Steifigkeit zu Gewicht ist bei einer Wabenstruktur um etwa 20% höher als bei einem identisch dimensionierten Monolithen

**Knickverhalten** – Bei einer Belastung in der Ebene (z-Richtung) sind die kritischen Spannungen viel höher als bei einer Belastung quer zur Ebene. Die Struktur verhält sich in z-Richtung steifer.

## Praxisbeispiel

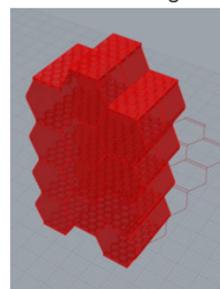
Eine Parametrisierung wird im Rhinoceros-Plug-In Grasshopper durchgeführt, wobei folgende Parameter variiert werden:

- Zellengeometrie
- Anzahl an horizontalen und vertikalen Feldern
- Geometrie der Sandwichplatten als Boden- und Deckenelemente

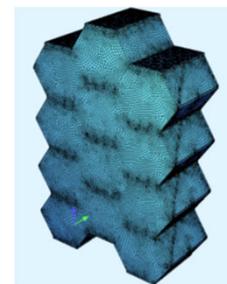
3D-Modellerstellung in Rhinoceros und Exportieren in Sofistik:

In der Sofistik-Berechnung werden folgende Aspekte berücksichtigt bzw. durchgeführt:

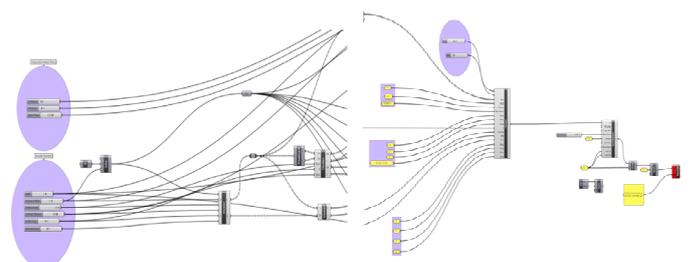
- Gewöhnliche Lasten für Mehrfamilienwohnungen – Eigengewicht, Ausbaulasten, Nutzlasten, Wind- und Schneelasten
- Berechnung der Nachweise für GZT und GZG
- Berechnung der Bewehrungsmengen



Rhino-Modell



Sofistik-Modell



Abschnitt Grasshopper-Leinwand