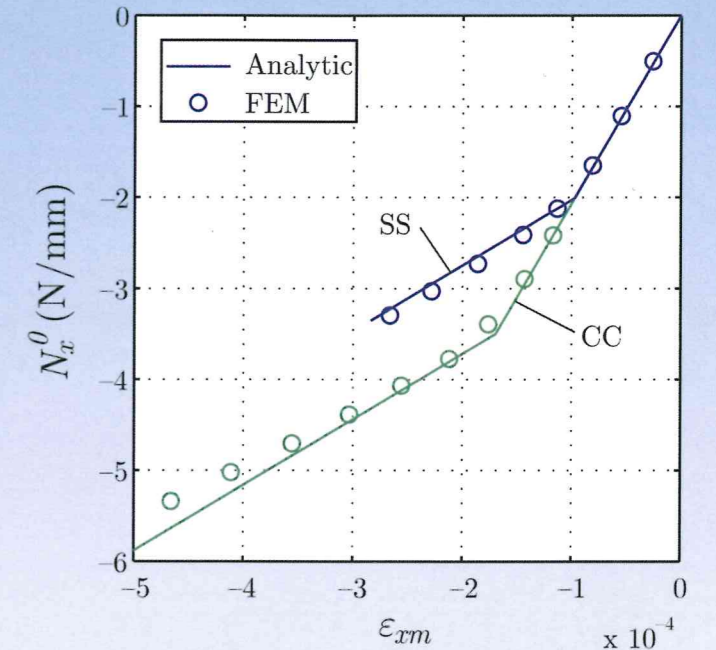
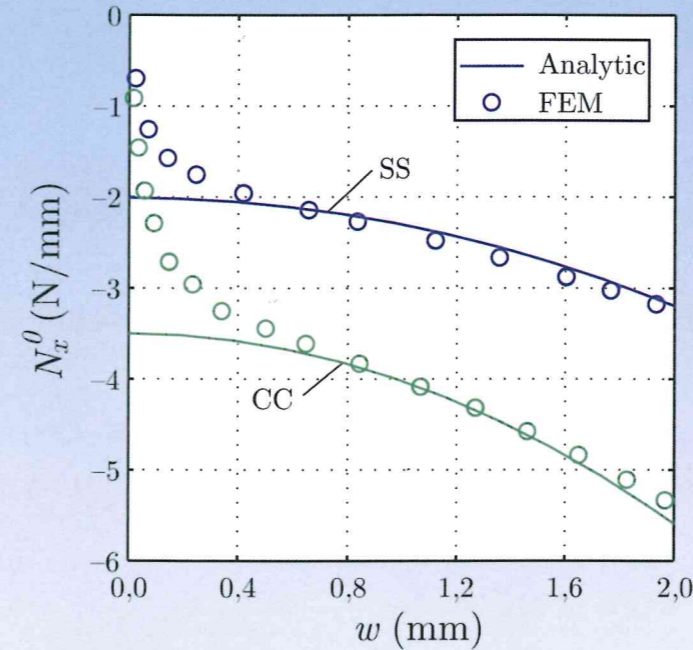
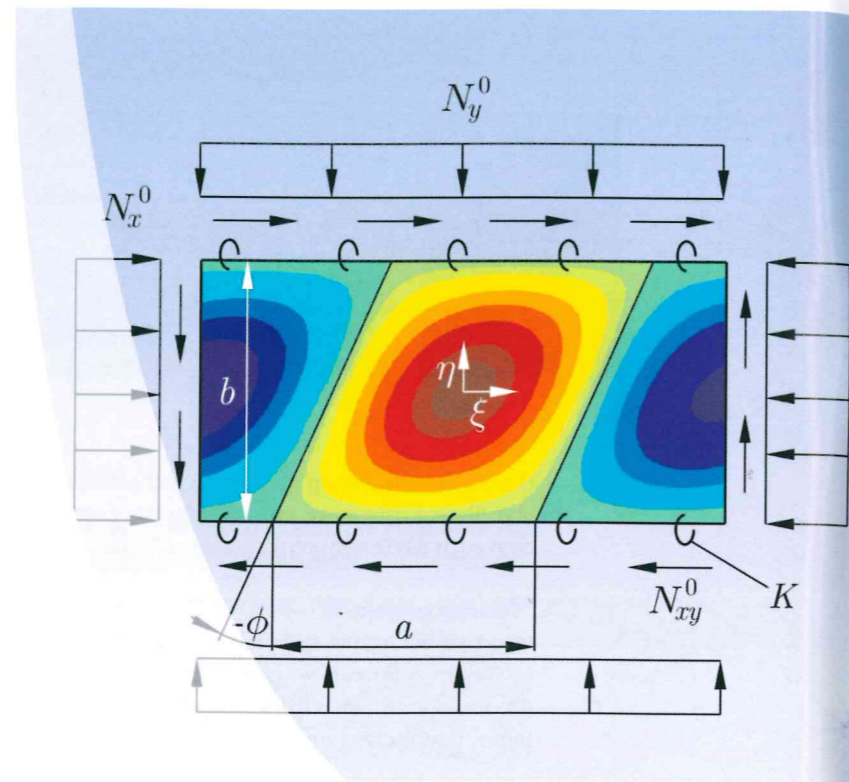


# Beulverhalten dünnwandiger Laminatstrukturen



Gegenüberliegende Seite: Strukturelle Konfiguration des anisotropen Plattenstreifens. Oben: Vergleich der Ergebnisse des neu entwickelten Berechnungsverfahrens (Analytic) mit den Ergebnissen nach der Finite-Elemente-Methode (FEM): Maximale Durchbiegung  $w$  (links) und mittlere Dehnung  $\epsilon_{xm}$  (rechts) eines  $[\pm 45]_s$ -Laminats für kombinierte Belastung ( $N_{xy}^0 = N_x^0$ ) bei beidseitiger gelenkiger Lagerung (SS) und fester Einspannung (CC)

In vielen Bereichen des Leichtbaus werden in immer größerem Umfang Strukturen aus Faserverbundwerkstoffen eingesetzt. Um das mechanische Modell der realen Struktur aus diesen Werkstoffen, z. B. eines Schiffs- oder Flugzeugumpfs, zu bilden, wird die Gesamtstruktur häufig in Unterstrukturen aufgegliedert, die dann mittels Stäben, Balken, Platten oder Schalen idealisiert werden können. Über die Jahrzehnte wurden unterschiedliche Berechnungsmethoden, darunter globale Ansätze sowie die Finite-Streifen-Methode (FSM) und die Finite-Elemente-Methode (FEM), entwickelt, um das Stabilitätsverhalten solcher Strukturen zu analysieren. Die beiden letztgenannten Verfahren erfordern in Entwicklungsphasen mit hochgradig iterativem Charakter wie Vorentwurf oder Optimierung jedoch oft einen hohen Berechnungs- und damit auch Zeitaufwand.

Der Fokus dieses Projekts liegt daher auf der Entwicklung von Berechnungsmethoden, die innerhalb von Sekundenbruchteilen hinreichend genaue Ergebnisse liefern. Im Rahmen eines kooperativen Promotionsverfahrens unter der Betreuung von Prof. Dr.-Ing. Michael Seibel (HAW Hamburg), Dr.-Ing. Christian Mittelstedt (SOGETI Hightech) und Prof. Dr.-Ing. Jürgen Thorbeck (TU Berlin) werden verschiedene Berechnungsverfahren zur Beschreibung des linearen und nicht linearen Beulverhaltens von versteiften und unversteiften Flächentragwerken entwickelt.

Für folgende Strukturkonfigurationen wird das lineare und nicht lineare Beulverhalten untersucht:

- allseitig gelenkig gelagerte, schwach gekrümmte, orthotrope Kreiszylinderschale unter Längsdruckbelastung
- anisotroper Plattenstreifen mit beidseitig elastisch eingespannten Längsrändern unter biaxialer Druckbelastung und Schub
- orthotrope Platte mit einseitig elastisch eingespanntem und freiem Längsrand unter Druckbelastung
- mit T-Profilen versteifter, anisotroper Plattenstreifen mit periodischen Längsrandbedingungen unter Längsdruckbelastung und Schub

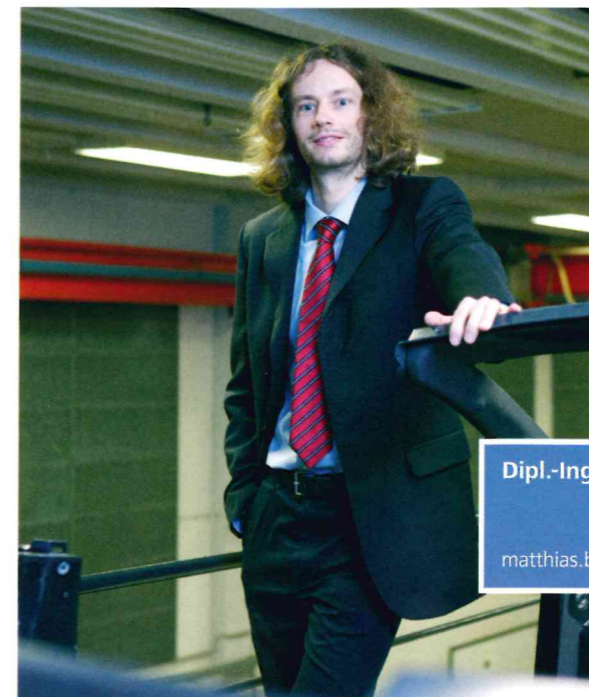
Die Forschungsergebnisse werden auf Konferenzen präsentiert und in wissenschaftlichen Fachzeitschriften publiziert. Im Folgenden soll als Beispiel der Fall des anisotropen Plattenstreifens (zweiter Punkt) vorgestellt werden.

Die strukturelle Konfiguration eines anisotropen Plattenstreifens im natürlichen  $\xi$ - $\eta$ -Koordinatensystem zeigt das Bild oben. Als Lastfälle werden Längsdruck  $N_x^0$ , Querdruck  $N_y^0$  und Schub  $N_{xy}^0$  berücksichtigt. Während die Längsränder durch Drehfedern der Steifigkeit  $K$  eingespannt sind, bestehen keine spezifischen Annahmen bezüglich der Randbedingungen an den Querrändern. Das Modell gilt daher nur für Fälle, in denen diese Randbedingungen einen vernachlässigbar geringen Einfluss haben, z. B. wenn lange Platten betrachtet werden. Die Beulwellenlänge in Längsrichtung ist mit  $a$  bezeichnet, die Breite mit  $b$  und die Schrägstellung der Knotenlinie mit  $\phi$ .

Als Berechnungsverfahren mit hoher Recheneffizienz wurden zur Lösung des Problems Variationsmethoden unter Verwendung einer Formfunktion mit nur wenigen Freiheitsgraden gewählt. Durch Einsetzen der Formfunktion in die Kompatibilitätsbedingung der ebenen Verzerrungen wird zunächst eine geschlossen-analytische Lösung der Airy'schen Spannungsfunktion gewonnen. Darauf wird unter Verwendung der Gleichgewichtsbedingung mit dem Galerkin-Verfahren die Last-Durchbiegungs-Beziehung ebenfalls in geschlossener analytischer Weise hergeleitet. Alle übrigen Kenngrößen, wie z. B. ebene Verschiebungen und Spannungen, können im Anschluss berechnet werden. Mit Berechnungszeiten im

Millisekundenbereich ist das Verfahren deutlich schneller als FSM und FEM, bei denen die Berechnungszeiten im Sekunden- oder Minutenbereich liegen. Das Neue dieses Berechnungsverfahrens liegt in der Erweiterung auf Laminatplatten mit beliebigem symmetrischem, ausgeglichtem Laminataufbau und der Berücksichtigung von zusätzlicher Querdruckbelastung.

Vergleichende Finite-Elemente-Berechnungen (Diagramme auf dieser Seite) zeigen, dass die entwickelte Berechnungsmethode abgesehen von Fällen mit Querdruck gute Näherungen für das Stabilitätsverhalten im frühen Nachbeulbereich liefert.



Dipl.-Ing. (FH) Matthias Beerhorst

matthias.beerhorst@haw-hamburg.de