

Zusammenfassung

Wenn man auf die Geschichte der Seiltragwerke zurückblickt, wird deutlich, dass neue Seilmaterialien die Entwicklung von Seiltragwerken signifikant gefördert haben. Der kohlenstofffaserverstärkte Kunststoff (CFK) ist ein fortschrittlicher Verbundwerkstoff mit den Vorteilen hohe Festigkeit, geringes Gewicht, keine Korrosion und hohe Dauerfestigkeit. Mit diesen Vorteilen ist CFK für Zugelemente geeignet, die in einem breiten Spektrum von Anwendungen Stahlseile ersetzen können.

Die Anwendung von CFK-Zugelementen trägt zur Weiterentwicklung von Seiltragwerken bei. Die mechanisch idealen Tragwerke für solche Zugelemente sind die orthogonal belasteten Seiltragwerke. Bei diesen sind die Seile hauptsächlich orthogonal bzw. annähernd orthogonal zur Seilachse durch äußere Lasten beansprucht. In den orthogonal belasteten Seiltragwerken, wie bestimmte Seildächer und Seilfassaden, entsteht die Tragwerkssteifigkeit hauptsächlich nicht aus der elastischen Steifigkeit der Seile, sondern aus der geometrischen Steifigkeit. Diese wird durch die Vorspannkraft der Seile bestimmt, jedoch nicht durch deren Elastizitätsmodul. Das bedeutet, dass für ein solches Seiltragwerk, eine Erhöhung der Tragwerkssteifigkeit mit steigender Zugfestigkeit der Seile möglich ist. Im Mittel können dadurch die Seilquerschnitte verringert werden, ohne dass die Verformung ansteigt. Dieser Effekt erklärt, dass die Verwendung von CFK-Zugelementen, deren Zugfestigkeit größer ist als die von Stahlseilen, in orthogonal belasteten Seiltragwerken zu wirtschaftlicheren Tragwerken führen kann. Diese Einsparungen entstehen obwohl der Elastizitätsmodul der CFK-Zugelemente geringer und deren Materialpreis im Vergleich zu Stahlseilen höher ist.

Diese Arbeit beginnt mit einer Einführung zur Geschichte der Seiltragwerke und deren Tragverhalten. Um die oben genannte These begründen zu können, werden daraufhin die elastische und die geometrische Steifigkeit des Einzelseiles hergeleitet. Danach werden die Seiltragwerke entsprechend dem Verhältnis von elastischer zu geometrischer Steifigkeit an der Gesamtsteifigkeit klassifiziert. Der maßgebende Parameter zur Unterscheidung zwischen orthogonal belasteten und anderen Seiltragwerken ist der Winkel zwischen der Seilachse und der externen Last (Lastwinkel).

Zur Begründung der These werden zwei typische orthogonal belastete Seiltragwerke, eine Seilnetzfassade und ein Ringseildach, ausgewählt und nacheinander in zwei Fallstudien untersucht. Dazu werden CFK-Zugelemente mit verschiedenen Elastizitätsmodulen und Zugfestigkeiten sowie Stahlseile ausgewählt und die Tragwerke damit numerisch untersucht. Die mechanischen Eigenschaften und die Wirtschaftlichkeit der untersuchten Tragwerke werden miteinander verglichen. Da diese zwei Seiltragwerke unterschiedliche Lastwinkel haben, ist es möglich dessen Einfluss auf die Verwendung von CFK-Zugelementen anhand der Ergebnisse zu beschreiben.

Zusätzlich zu den theoretischen mechanischen und wirtschaftlichen Vorteilen, wird die technische Verwendbarkeit von CFK-Zugelementen in orthogonal belasteten Seiltragwerken untersucht. Um die Herausforderung der Verankerung von CFK-Zugelementen zu lösen, werden bereits existierende Verankerungen analysiert und neue Verankerungskonzepte vorgeschlagen. Anhand dieser Konzepte, werden zwei neuartige Verankerungen für CFK-Zugelemente, die Wickel-Klemm-Verankerung und die Kausche-Klemm-Verankerung, entwickelt. Die numerischen und experimentellen Untersuchungen dieser Verankerungen werden vorgestellt.

Dann wird der Prototyp eines CFK-Ringseildachs präsentiert, das vom Autor und seinen Kollegen an der Technischen Universität Berlin gebaut wurde, um die technische Machbarkeit von orthogonal belasteten Seiltragwerken mit CFK-Zugelementen auf der Grundlage des heutigen Stands der Technik zu zeigen. Außerdem wird die neue Strukturform vorgeschlagen, die insbesondere für orthogonal belastete Seiltragwerke geeignet ist. Die kontinuierliche Bandwickelstruktur benötigt keine Verankerung und bietet somit eine innovative Lösung für die Verankerung von CFK-Zugelementen.

Die Forschungsergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass CFK-Zugelemente die mechanischen und wirtschaftlichen Eigenschaften von orthogonal belasteten Seiltragwerken effektiv verbessern können. Diese Verbesserung ist umso größer, je näher der Lastwinkel an 90° liegt. Die beiden vorgeschlagenen neuen Verankerungen können CFK-Zuglemente mit 100% Effizienz verankern. Der erfolgreiche Aufbau des Prototyps eines orthogonal belasteten Seiltragwerks zeigt, dass Entwurf und Bau dieser Tragwerke auf der Grundlage der gegenwärtigen Technologie möglich sind. Außerdem wird gezeigt, dass die kontinuierliche Bandwickelstruktur eine mögliche und effiziente Verwendung von CFK in orthogonal belasteten Seiltragwerken ist.