

Kurzfassung der Masterarbeit „Entwicklung von Fertigungskonzepten für thermoplastische FVK-Druckbehälter im laserunterstützten Tapewickelverfahren“

Bei der Fertigung thermoplastischer FVK-Druckbehälter im laserunterstützten Tapewickelverfahren werden die Tapes durch eine sogenannte in-situ Konsolidierung in einem Verfahrensschritt abgelegt, aufgeschmolzen, angedrückt und vollständig konsolidiert. Dadurch ergibt sich beim Thermoplastwickeln von FVK-Druckbehältern eine, im Vergleich zum Duroplastwickeln, erhöhte Designfreiheit bei der Gestaltung des Wickelmusters. In der aktuellen Praxis leiten sich jedoch die Verfahren zu Herstellung faserverstärkter Bauteile mit thermoplastischer Matrix heute noch von etablierten geodätischen Verfahren ab, die auf den fertigungstechnischen Randbedingungen des Wickelns mit duroplastischen Matrixmaterialien basieren und somit nicht die Vorteile des thermoplastischen Materials nutzen.

Im Rahmen dieser Arbeit konnten auf Grundlage einer umfassenden Recherche zum Stand der Technik zahlreiche Potenziale identifiziert werden, die dazu beitragen, die Fertigung im thermoplastischen Tapewickelverfahren insgesamt werkstoffspezifisch auszulegen. Anhand der identifizierten Potenziale konnten drei neue Fertigungskonzepte für das laserunterstützte Tapewickeln von thermoplastischen FVK-Druckbehältern abgeleitet und entwickelt werden. Die Fertigungskonzepte wurden zunächst mittels Netztheorie vorausgelegt. Zur weiteren Untersuchung wurde ein MATLAB-Programm geschrieben, das auf Grundlage von Geometriedaten für Druckbehälter die Faserablagespuren berechnet und die zugehörigen Pfadkoordinaten exportiert, um eine Fertigung im thermoplastischen Tapewickelverfahren zu ermöglichen. Anhand der Ergebnisse von Validierungsversuchen wurden die drei Fertigungskonzepte bewertet und mit dem etablierten Fertigungskonzept, der geodätischen Wicklung, mittels Nutzwertanalyse verglichen.

Die ersten beiden entwickelten Fertigungskonzepte basieren auf dem Einsatz von Extremwickelwinkeln, also der Ablage von Tapes unter den Wickelwinkeln $\alpha = 90^\circ$ und $\alpha = 0^\circ$. Der Wickelwinkel α beschreibt den Winkel zwischen Faserrichtung und Wickelachse x auf dem zylindrischen Bereich eines Druckbehälters. Da orientierte Fasern ein anisotropes Verhalten zeigen, hat der Wickelwinkel einen maßgeblichen Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften des Druckbehälters. Bei diesen sogenannten radialen bzw. axialen Wicklungen besteht das Potenzial, die Wandstärke von Druckbehältern zu reduzieren, indem Tapes gezielt entlang der Wirklinien des Innendrucks abgelegt werden. Durch das stark belastungsoptimierte Design und die Vermeidung von Tapelegefehlern werden, im Vergleich zur geodätischen Wicklung, die Qualitätsanforderungen besser erfüllt. Die Ablage unter Extremwickelwinkeln erfordert jedoch das Schneiden der Tapes nach jeder Bahn, somit handelt es sich bei der radialen und axialen Wicklung um diskontinuierliche Prozesse.

Bei der geodätischen Wicklung werden die Wickelpfade abhängig von der Zylindergeometrie des Druckbehälters generiert, was in einer Materialanhäufung auf den Polbereichen des Druckbehälters resultiert. Diese Materialanhäufungen sind sowohl von einem produktionstechnischen Standpunkt als auch für die mechanische Verbesserung von Druckbehältern kritisch, da die Polbereiche dadurch überdimensioniert ausgelegt sind. Das dritte im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Fertigungskonzept „Variation der Wendepunkte“ basiert auf der Generierung des Wickelmusters ausgehend von den Polbereichen des Druckbehälters. Somit können auch Bahnen implementiert, die nicht die Polöffnung tangieren. Dadurch kann im Vergleich zur geodätischen Wicklung die Materialanhäufung auf den Polbereichen reduziert werden. Aufgrund der hohen Materialeinsparpotenziale bei gleichzeitig durchgängiger Fertigung kann das Fertigungskonzept als sehr wirtschaftlich bewertet werden.

Die drei entwickelten Fertigungskonzepte sowie die geodätische Wicklung, die im Rahmen dieser Arbeit als Referenz-Fertigungskonzept herangezogen wurde, sind zum besseren

Verständnis in Abbildung 1 schematisch in Seiten- und Vorderansicht dargestellt. Insgesamt tragen die drei neuartigen Fertigungskonzepte dazu bei, das lastoptimierte Design von Druckbehältern zu verbessern und Materialanhäufungen auf den Polbereich zu verringern. Somit kann durch die Umsetzung der neuartigen Fertigungskonzepte die Materialeffizienz thermoplastischer FVK-Druckbehälter insgesamt gesteigert werden.

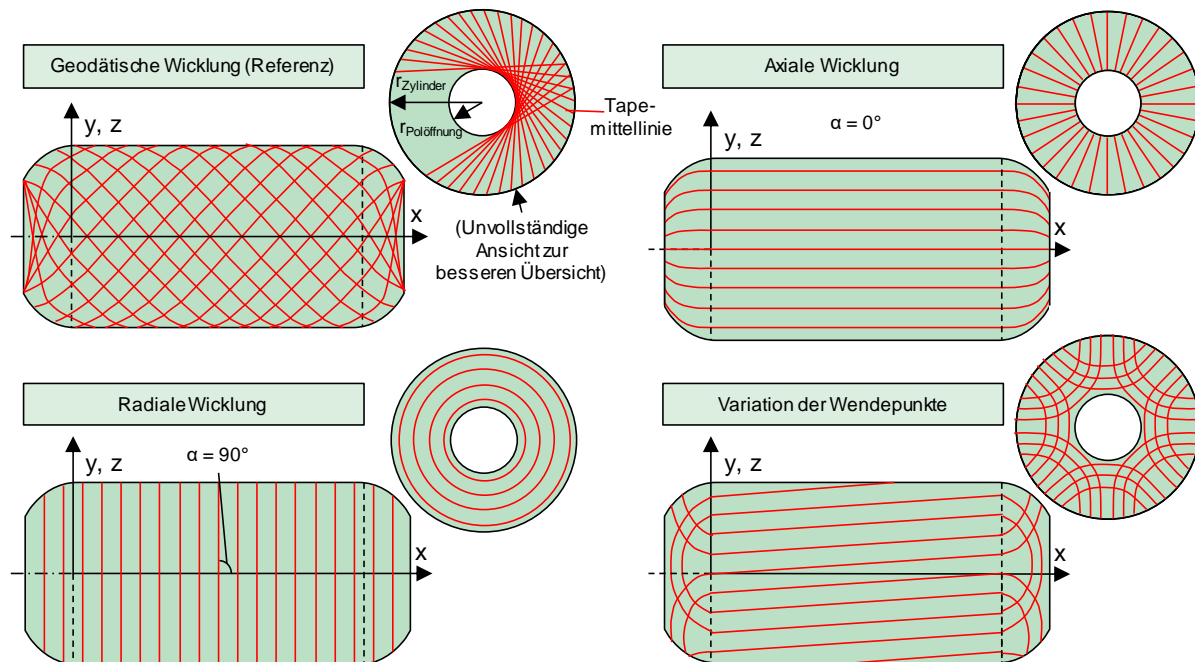


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Fertigungskonzepte, die im Rahmen dieser Arbeit untersucht wurden

Anhand der Fertigung von Druckbehältern mittels der vier ausgewählten Fertigungskonzepte im Rahmen von Validierungsversuchen wurde eine Datenbasis zu Bewertung der Fertigungsverfahren ermittelt. Für die Nutzwertanalyse der Fertigungsverfahren wurden in den Kategorien Qualitätsanforderungen, Prozessanforderungen und Wirtschaftlichkeit insgesamt zwölf Bewertungskriterien definiert und mittels paarweisem Vergleich gewichtet.

Insgesamt erreichen die drei im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Fertigungskonzepte einen höheren Gesamtnutzwert, als das etablierte geodätische Fertigungskonzept. Der Vergleich der untersuchten Fertigungskonzepte zeigt, dass jedes Fertigungskonzept verschiedene Potenziale bezüglich der Anforderungen an das thermoplastische Wickelverfahren aufweist sowie spezifische Vor- und Nachteile besitzt. Somit empfiehlt es sich, durch Kombination der Fertigungskonzepte im Lagenaufbau, die verschiedenen Vorteile der einzelnen Fertigungskonzepte gezielt miteinander zu verbinden.

Als größtes Verbesserungspotenzial für die drei neu entwickelten Fertigungskonzepte kann deren prozesstechnische Optimierung identifiziert werden. In Folgeuntersuchungen sollten die neu entwickelten Verfahren in einer praktischen Erprobung weiter untersucht werden, um die Prozessdaten entlang des Wickelpfades weiter zu optimieren. Weiterhin lag im Rahmen dieser Arbeit der Fokus auf dem Aufzeigen von prozessseitigen Möglichkeiten zur Gestaltung von optimierten Wickelpfaden für das thermoplastische Tapewickelverfahren. Dabei sollte die Gestaltung des Lagenaufbaus nicht unabhängig von der mechanischen Auslegung durchgeführt werden, da diese sich gegenseitig beeinflussen. Da eine analytische Vorauslegung des Fertigungskonzepts „Variation der Wendepunkte“ mittels Netztheorie nicht möglich ist, da diese im Allgemeinen nur bis drei Faserrichtungen bestimmt ist, sollte in einer weiteren Untersuchung eine ausführliche mechanische Auslegung mittels CLT oder FE-Analyse durchgeführt werden.