

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Erfolgreiche Produktinnovationen erfordern mehr als nur eine Substitution von Komponenten, Werkstoffen oder Design. Dennoch werden solche Detailoptimierungen oftmals den risikoreicheren fundamentalen Konzept- oder Systemänderungen vorgezogen. Eine branchenübergreifende Zusammenarbeit ist dafür ein vielversprechender Ansatz, noch nicht genutzte Forschungs- und Entwicklungspotentiale in Anspruch zu nehmen.

Eine solche kooperative Zusammenarbeit zwischen der kautschuk- und der thermoplastverarbeitenden Industrie wurde jedoch oft durch historisch begründete Barrieren verhindert. Dieses wird am Beispiel des Thermoplastischen Elastomers (TPE) nachstehend aufgezeigt:

Beim Aufkommen dieses relativ modernen Werkstoffs zeigte sich, dass die Kautschukindustrie anfangs die einschneidenden Vorteile des TPE nicht ausreichend wahrgenommen hat [1, 2]. Dieser Werkstoff, der direkt vom Materialhersteller angeliefert wird und nicht mehr aufwendig compoundiert werden muss, stand in Konkurrenz zu den in den kautschukverarbeitenden Firmen hergestellten Kautschuk-Spezialitäten mit komplexem Herstellungs-Know-how. Aufgrund der thermoplastischen Verarbeitbarkeit des TPE zeigte demgegenüber die Thermoplastbranche ein vermehrtes Interesse an diesem neuen Werkstoff, der sich durch weitere Vorteile wie z.B. werkstoffliches Recycling und vielfältige Farbgebung auszeichnet. Schließlich substituiert das TPE das in der Thermoplastbranche bekannte Weich-PVC, vor allen Dingen jedoch das in der Kautschukbranche verarbeitete EPDM und die Nitril-, Acryl- und Flourelastomere [3].

Die Entwicklung von grundsätzlich neuen Produkten aus TPE kann jedoch nur auf Basis geeigneter Beschreibungsmodelle des mechanischen Verhaltens des neuen Werkstoffs und seiner Verbunde erfolgen. Diese Modelle basieren wiederum auf Erfahrungen mit dem Kautschukmaterial und liegen deshalb in der Kautschukbranche vor. Es ist von Interesse, dass die Kautschukbranche sich mit diesem speziellen Werkstoff verstärkt auseinandersetzt, um Grundlagen dafür zu erarbeiten, dass TPE nicht nur zur Substitution für Kautschuk oder Thermoplastmaterialien eingesetzt wird, sondern dass seine außergewöhnlichen Eigenschaften als Basis für grundsätzlich neue Produktideen und Herstellungsverfahren herangezogen werden können.

Das Bestreben der gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungskooperation der TUHH mit der NYH AG ist, die Zusammenführung von innovativen Ideen und Konzepten aus dem Bereich der polymeren Verbundwerkstoffe mit dem Anforderungsprofil der Kautschukbranche in Verbindung zu bringen. Ziel der beispielhaften Prototypentwicklung eines hochbelastbaren dimensionsstabilen semi-flexiblen Verbundes ist ein neuartiger Handlauf für Fahrtreppen. Dieser soll aus einem geeigneten TPE in einem kontinuierlichen Fertigungsverfahren hergestellt werden. Dafür sind folgende Aufgaben zu bewältigen:

- Entwicklung von neuartigen Verstärkungskonzepten und -strukturen für die kontinuierliche Verbundherstellung,
- Beschreibung des mechanischen Verhaltens des TPE und der textilen Verstärkungsstrukturen mit der Methode der Finiten Elemente (FEM),
- Beschreibung des mechanischen Verhaltens der semi-flexiblen Faserverbunde mit der FEM,
- Entwicklung von geeigneten Fertigungstechnologien zur kontinuierlichen Herstellung der Faserverbunde.

1.2 Ziel der Arbeit

In dieser Arbeit sollen die werkstofftechnischen Grundlagen zur Konzeption eines allgemeinen semi-flexiblen Verbundes aus TPE entwickelt werden. Diese Grundlagen sollen im Anschluss an diese Arbeit als Basis für die Prototypenentwicklung und die entsprechende Fertigungstechnologie dienen, um in einem speziellen Beispiel einen dimensionsstabilen semi-flexiblen Faserverbund – einen Handlauf für Fahrtreppen - herzustellen. Die Zielerreichungsstrategie der Arbeit ist in Abbildung 1-1 verdeutlicht.

Zunächst folgt eine Darstellung des Standes der Technik über den konventionellen, aber auch potentiellen Aufbau und der Fertigung von semi-flexiblen Faserverbunden. Aufgrund diverser Unzulänglichkeiten der konventionellen Konzepte wird ein neues modulares Designkonzept vorgestellt, das die Möglichkeit bietet, allen Anforderungen an den TPE-verstärkten Faserverbund gerecht zu werden. Für dieses modulare Designkonzept werden anschließend geeignete Materialkomponenten und Verstärkungsstrukturen vorgestellt.

Im ersten Hauptteil (*Kapitel 5: Quasistatische Charakterisierung und hypoelastische Modellierung des Verhaltens von TPU*) wird ein für den Verbund geeignetes TPE - ein thermoplastisches Polyurethan (TPU) - experimentell in uni-axialen und biaxialen Versuchen charakterisiert. Zur analytischen Beschreibung des Materialverhaltens werden nicht-lineare Beschreibungsmodelle evaluiert, die in der anschließenden numerischen Beschreibung von Modellverbunden mit der Finiten Elemente Methode angewendet werden.

Da bisherige Arbeiten zur Untersuchung der Grenzflächenhaftung von Faser/Matrix-Verbunden nur eine unzureichende Aussage zur Anwendung für Verbunde aus TPE und geeigneten Polymerfaserbündeln machen, wird im zweiten Hauptteil (*Kapitel 6: Charakterisierung und Modellierung der Grenzflächeneigenschaft eines extrudierten Polymerfaser/TPU-Verbundes*) ein Debond-Test für extrusionsbeschichtete Faserbündel vorgestellt, anhand dessen relevante Erkenntnisse zur Auswahl der Materialpaarung festgestellt werden können. Neben diesen makroskopischen Grenzflächenuntersuchungen geben Analysen mit der Laser-Raman-Spektroskopie Informationen über das mikroskopische Grenzflächenverhalten. Schließlich wird in einem FEM-Modell das Grenzflächenversagen numerisch dargestellt.

Im dritten Hauptteil (*Kapitel 7: Charakterisierung und Modellierung eines gewirkverstärkten TPU-Modellverbundes*) wird ein exemplarischer modular aufgebauter Modellverbund aus TPU mit einer einseitigen Gewirkverstärkung hergestellt. Der Einfluss der einseitigen Gewirkverstärkung wird experimentell untersucht, um die Möglichkeit der modularen Verstär-

kung aufzuzeigen. In der folgenden FE-Berechnung werden die Grenzen von zwei unterschiedlichen Diskretisierungsmöglichkeiten für die FE-Modellierung des Modellverbundes dargestellt.

Zum Abschluss wird innerhalb des Anhangs (*Anhang: Anwendung der erarbeiteten Konzepte und Grundlagen zur Entwicklung eines Handlaufs für Fahrtreppen*) gezeigt, dass auf Basis dieser Grundlagenuntersuchungen eine geeignete textile Mesostruktur zur Verstärkung des semi-flexiblen Profils entwickelt werden kann. Ebenso wird ein Designvorschlag für einen Handlauf-Prototyp vorgestellt und die notwendige Extrusionstechnologie für die Fertigung des Bauteils dargestellt.

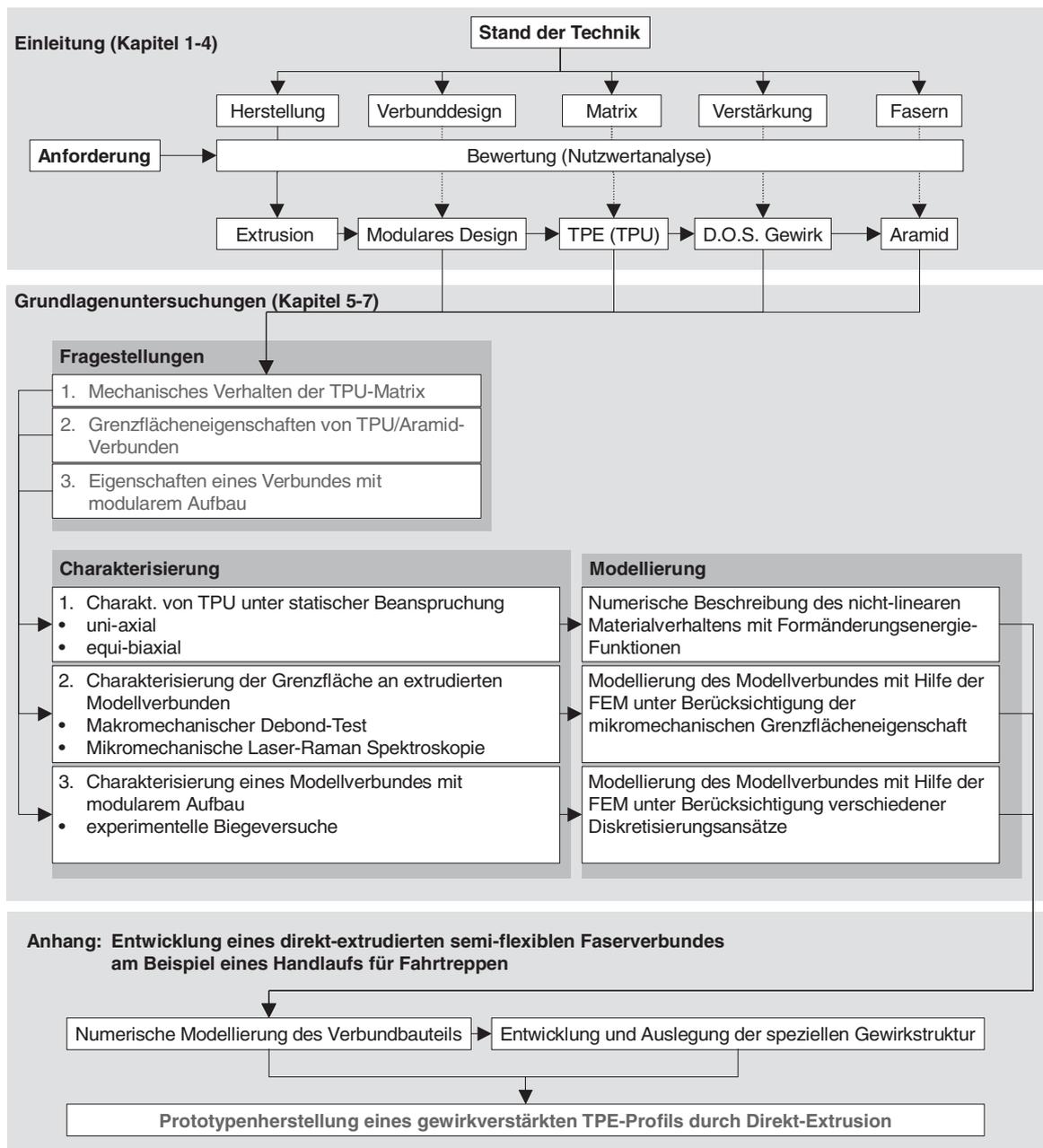


Abbildung 1-1: Zielreichungsstrategie der Arbeit