

Marktanalyse und Markteintrittsstrategie für die splineTEX-Technologie

Masterarbeit
von
Michael Ungerland

Technische Universität Graz

Fakultät für Maschinenbau und Wirtschaftswissenschaften

Institut für Betriebswirtschaftslehre und Betriebssoziologie

O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Ulrich Bauer

Graz, im Juli 2013

In Kooperation mit:

thöni

Thöni Industriebetriebe GmbH

superTEX



EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources, and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.

.....

date

.....

(signature)

Kurzfassung

Der Einsatz von Leichtbaumaterialien hat besonders im Bereich Luft- und Raumfahrt, aber auch im Automobilsektor, stetig an Bedeutung gewonnen. Jüngste Entwicklungen zeigen ein steigendes Wachstum der Verwendung von faserverstärkten Kunststoffen, besonders in Verbindung mit Glas- und Kohlefasern. Mit der patentrechtlich geschützten splineTEX-Technologie der Firma superTEX Composites GmbH ist die Möglichkeit gegeben, komplex gekrümmte und dreidimensional geformte Faserverbundrohre, ohne aufwendigen Formenbau, in wirtschaftlichem Rahmen herzustellen.

Diese Masterarbeit zeigt zunächst aktuelle und zukünftige Trends im Leichtbau auf, fokussiert auf den Automobil-, Luftfahrt- und Sportbereich. Speziell die Entwicklungen der Kohlefaserverbundkunststoffe stehen hierbei im Mittelpunkt der Analyse.

Anschließend werden die diversen Strukturelemente und Verfahrensprozesse der splineTEX-Technologie vorgestellt und näher erläutert. Da es sich bei dieser Innovation um ein einzigartiges Verfahren handelt, mit dem unter Verwendung eines Inliners und Outliners Faserverbundrohre und Faserverbundstrukturen hergestellt werden können, besteht kein direktes Konkurrenzverfahren. Es werden daher der splineTEX-Technologie ähnliche Verfahren betrachtet und miteinander verglichen. Auch werden einige Mitbewerber genannt, die mit diesen Verfahren Faserverbundbauteile herstellen. Eine Wirtschaftlichkeitsanalyse des Herstellprozesses rundet die Vorstellung der splineTEX-Technologie ab.

Eine umfassende Marktanalyse gibt einen Überblick über Anwendungen der splineTEX-Technologie. Es werden aktuelle und potentielle Projekte, speziell im Automobil- und Sportbereich, näher analysiert und ein Anwendungspotenzial für die splineTEX-Technologie aufgezeigt.

Abschließend wird eine persönliche Empfehlung für weitere Marktaktivitäten sowie einer möglichen Markteintrittsstrategie gegeben.

Abstract

The use of lightweight materials has grown particularly in the field of aerospace, but also in the automotive sector. Recent developments show an increasing use of fibre-reinforced plastics, especially in combination with glass and carbon fibre.

A patented technology called "splineTEX" (manufactured by superTEX Composites GmbH) makes it possible to create complex curved and three-dimensionally shaped fibre composite tubes without moulding them into complex frameworks.

This thesis initially points to current and future trends in lightweight materials, focused mainly on the automotive, aerospace and sports sectors. Carbon fiber reinforced plastics are the central focus of this analysis.

The various construction and method processes of the splineTEX technology will be presented and explained in detail. Since this is a unique innovation fibre composite tubes are produced with the use of an Inliner and Outliner; there is no direct method competitor.

Some competitors that manufacture similar composite parts with a comparable method are mentioned. A financial analysis of the production process will complete the analysis of splineTEX technology.

A comprehensive market analysis will provide an application overview and will cover some finer points within the Automotive and Sports sector.

Finally a personal recommendation for a diverse market driven strategic approach is given.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation und Unternehmensvorstellung	2
1.2	Ziele der Masterarbeit	4
1.3	Untersuchungsbereich	4
2	Theoretische Grundlagen dieser Arbeit	6
2.1	Wirtschaftliche Grundlagen	6
2.1.1	Technology Push	6
2.1.2	Strategische Marktanalyse	11
2.1.3	Wettbewerbsstrategien.....	13
2.1.4	Produkt - Markt - Strategie	14
2.2	Technische Grundlagen	17
2.2.1	Prinzip der Leichtbauweise.....	17
2.2.2	Prinzip der Faserverbundkunststoffe (FVK).....	19
3	Generelle und zukünftige Trends im Leichtbau	28
3.1	Leichtbauentwicklungen im Automobilbereich	31
3.1.1	Verwendung von kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK).....	32
3.1.2	Reduzierung der CO ₂ - Emissionen in der Automobilbranche	35
3.1.3	Materialmix - Einteilung in verschiedene Lightweight Packages	37
3.1.4	Einsatz von Kohlefaserverbund in der Serienfertigung	41
3.2	Leichtbauentwicklungen im Luftfahrtbereich	42
3.3	Leichtbauentwicklungen im Sportbereich	46
4	Die splineTEX-Technologie	48
4.1	Verfahren und Strukturelementaufbau.....	48
4.1.1	splineTEX - flex.....	49
4.1.2	splineTEX - plast.....	51
4.1.3	Stärken-Schwächen-Analyse der splineTEX-Technologie.....	52
4.2	Konkurrenzverfahren.....	54
4.2.1	RTM - Schlauchblasverfahren	54
4.2.2	RTM - Verfahren in Kombination mit Flechtkernen	55
4.2.3	Pultrusionsverfahren und artverwandte Verfahren.....	57
4.2.4	BRAID Mandrel - Verfahren.....	60
4.2.5	Weitere Verfahrensprozesse	61

4.2.6	Vergleich der Konkurrenzverfahren mit splineTEX	62
4.3	Überblick der Mitbewerber.....	65
4.4	Wirtschaftlichkeitsanalyse für splineTEX	66
4.4.1	Analyse der Materialkosten für splineTEX - Strukturelemente	66
4.4.2	Wirtschaftlichkeitsvergleich mit RTM - Schlauchblasverfahren	73
4.4.3	Ableiten von Handlungsempfehlungen	78
5	Marktanalyse für die splineTEX - Technologie	80
5.1	Generelle Analyse von Anwendungsbereichen	80
5.1.1	Durchführung und Auswertung von Experteninterviews	82
5.1.2	Neue Anwendungsbereiche für die splineTEX - Technologie	87
5.1.3	Technologische Bewertungskriterien.....	87
5.2	Marktübersicht Automotive-Sektor und Sportartikel-Sektor.....	91
5.2.1	Automotive - Sektor.....	94
5.2.2	Betrachtung Sportartikel - Sektor.....	98
5.3	Gesamtpotentialabschätzung für splineTEX.....	100
5.3.1	Gesamtpotenzialabschätzung im Automotive - Sektor.....	101
5.3.2	Gesamtpotenzialabschätzung Sport - Sektor	104
5.3.3	Zusammenfassung Gesamtpotenzialabschätzung	105
5.4	splineTEX - Markteintritt	107
5.4.1	Empfehlung für splineTEX - Wettbewerbsstrategie	107
5.4.2	Markteintrittsempfehlung für splineTEX.....	108
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	111
	Literaturverzeichnis	114
	Onlinequellen.....	116
	Abbildungsverzeichnis	119
	Tabellenverzeichnis	122
	Abkürzungsverzeichnis	123
	Anhang.....	126

1 Einleitung

Besonders in der Automobilbranche, aber auch in diversen anderen Bereichen, wie der Luft- und Raumfahrttechnik, der Windenergie sowie dem allgemeinen Maschinenbau, gewinnt der Einsatz von Leichtbaumaterialien stetig an Bedeutung. Als Ziele der Leichtbauweise stehen effiziente Gewichtseinsparungen in diversen Bauteilen und daraus resultierende Kostensenkungen und Nutzungsgraderhöhungen im Vordergrund.

Legen Branchen, wie die Luft- und Raumfahrttechnik, schon seit vielen Jahren den Fokus auf eine möglichst gewichtseffiziente Herstellung von Flugzeugen, Raumfähren usw., ist das Gewicht von Personenkraftwagen in den letzten Jahren stetig gestiegen, wie ein Gewichtsvergleich von zwei VW Golf-PKW belegt (siehe Abbildung 1). Der Ende der siebziger Jahre auf den Markt gekommene Golf I wog damals rund 750 Kilogramm, deutlich weniger als der Golf VI, der seit Ende des Jahres 2008 mit einem Gewicht von etwa 1230 Kilogramm verkauft wird. Diese Entwicklung im Automobilbereich resultiert hauptsächlich aus den gestiegenen Sicherheitsanforderungen, da diese z.B. steifere Strukturen nötig machen, um die Fahrzeuginsassen im Falle eines Unfalls bestmöglich zu schützen. Aber auch der Einsatz von Elektroantrieben, kraftstoffeffizienteren Motorentechniken sowie die zahlreichen Möglichkeiten der Komfortausstattung, tragen zu einem Anstieg des Fahrzeuggewichts bei.¹

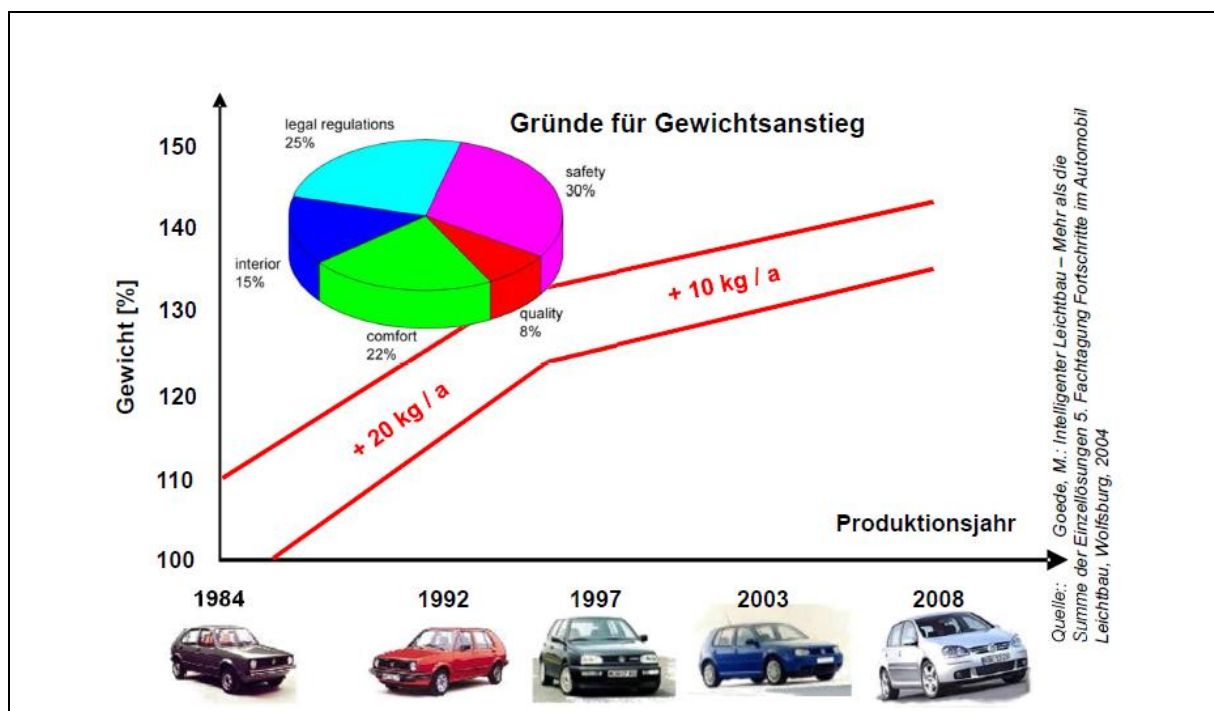


Abbildung 1: Gewichtsentwicklung VW Golf²

Neue Gesetzgebungen, die speziell für die Emissionssenkungen bei neu zugelassenen Automobilen erlassen worden sind, zwingen jedoch die Automobilbranche zu vermehrtem

¹ Vgl. www.auto-motor-und-sport.de (06.03.2013)

² Vgl. OECHSLER (2012), S. 16.

Einsatz von Leichtbauteilen in ihren Fahrzeugflotten, um das Fahrzeuggewicht und somit den CO₂-Ausstoß zu senken.

Aktuelle Studien der Unternehmensberatungen McKinsey&Company³ und Roland Berger⁴ belegen einen stetigen Anstieg des Einsatzes von Leichtbaumaterialien. Besonders für die Verwendung von faserverstärkten Kunststoffen wird ein rapides Wachstum prognostiziert. Durch die stetige Entwicklung von Innovationen, neuer Technologien und Verfahren zur Herstellung, wird der Weg für die Serienproduktion von Bauteilen aus Faserverbundkunststoffen geebnet.

1.1 Ausgangssituation und Unternehmensvorstellung

Gerade im Automobilbereich hat der Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen in den vergangenen 10 Jahren immer mehr an Bedeutung gewonnen. Laut der McKinsey Studie „Lightweight, heavy Impact“ aus dem Jahr 2012 wird der Anteil an Leichtbauteilen in der Automobilbranche bis zum Jahr 2030 von 30% auf 70% ansteigen. Speziell für kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe prognostiziert McKinsey ein Wachstum von 20% bis zum Jahr 2030. Gründe für diese Entwicklung sind diverse Gesetze zur Emissionssenkung bei neuen Fahrzeugen, nach denen die Hersteller den durchschnittlichen CO₂-Ausstoß ihrer Fahrzeugflotte bis zum Jahr 2020 auf unter 95 Gramm pro Kilometer senken müssen.⁵

Für die Produktion von hochbelastbaren Faserverbundstrukturen fehlen aktuell größtenteils die entsprechenden durchgängigen Prozessketten mit entsprechendem Qualitätsmanagement. Die vergleichsweise hohen Kosten für das Ausgangsmaterial, besonders die der Kohlefasern, aber auch für die technische Verarbeitung dieser zum Teil in handgefertigter Produktion, hindern die Industrie an einer breiten Herstellung von faserverstärkten Kunststoffbauteilen in industrieller Großserienfertigung.⁶

Die Firma superTEX composites GmbH in Telfs, Österreich, ist ein im Jahr 2011 gegründetes Spin-Off-Unternehmen der Universität Innsbruck. Im Jahr 2008 wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes ein Verfahren zur Herstellung von schlauchförmigen, komplex geformten Strukturelementen aus faserverstärktem Kunststoff entwickelt, das patentrechtlich geschützt wurde. Mit dieser materialtechnologischen Erfindung ist es möglich, leichte, hochbelastbare, rohrähnlich gebogene Faserverbundelemente in unterschiedlichen Maßstäben, für unterschiedliche Anwendungsbereiche, herzustellen.

³ Siehe dazu McKinsey&Co. „Lightweight, heavy impact“.

⁴ Siehe dazu Roland Berger „Serienproduktion von hochfesten Faserverbundbauteilen“.

⁵ Vgl. HEUSS, R et al. (2012), S. 10.

⁶ Vgl. NEITZEL, M.; MITSCHANG, P. (2004), S. 3.



Abbildung 2: splineTEX⁷

Die Firma Thöni Industriebetriebe GmbH in Telfs, die aktuell mit 17 % an der Firma superTEX beteiligt ist, plant künftig, neben der Aluminium- und Schlauchproduktion, auch die Produktion von Faserverbundelementen, hergestellt mit der splineTEX-Technologie. Damit soll der steigenden Nachfrage nach Faserverbundbauteilen, speziell aus Kohlenstofffasern, gerecht werden.

Hierfür soll in den nächsten drei Jahren am Hauptsitz der Firma Thöni in Telfs eine weitestgehend automatisierte Produktionsanlage zur flexiblen Serienherstellung von dreidimensional geformten Faserverbundrohren errichtet werden, die sämtliche Prozessschritte vom Ausgangsmaterial bis hin zum fertigen Strukturelement umfassen soll.

Das Familienunternehmen Thöni Industriebetriebe GmbH wurde 1964 von Arthur Thöni gegründet. Weitere Produktionsstandorte und Tochterunternehmen befinden sich in Landeck/Österreich, Kempten/Deutschland und Rovereto/Italien.

Die Aufgabenfelder der Firma Thöni unterteilen sich in folgende fünf Geschäftsbereiche:

- Aluminium / Automotive
- Umwelt-Energietechnik
- Anlagenbau
- Schlauchproduktion
- Manufacturing

Das Werk in Kempten stellt jährlich 60.000 t Strangpressbolzen im Umschmelzverfahren her. Diese werden anschließend in den Produktionsstätten in Telfs zu Aluminiumprofilen mit unterschiedlichen Querschnitten verarbeitet. Anschließend wird ein Teil dieser Profile im Bereich Automotive in vollautomatisierten Fertigungsstraßen weiterverarbeitet.

Im Geschäftsbereich Umwelt-Energietechnik werden Anlagen entwickelt und gebaut, mit denen die Erzeugung von Strom und Wärme aus erneuerbaren Energiequellen ermöglicht wird.

Im Bereich Anlagenbau werden in Landeck alle Anlagen für die Sparten Umwelt-Energietechnik sowie der Aluminiumverarbeitung gebaut.

⁷ Vgl. SUPERTEX BUSINESSPLAN (2012), S. 3.

Der Bereich der Schlauchproduktion in Telfs stellt seit 1970 Feuerwehrschräuche und Spezialschräuche für den industriellen Einsatz her.

Im Bereich Manufacturing in Kempten werden auf automatisierten Anlagen hochpräzise Werkstücke bis 5.000 kg für den Maschinen- und Anlagenbau, den Getriebebau sowie Komponenten für die Windkrafttechnik hergestellt.

Die Thöni Akademie bietet jungen Menschen eine fundierte, industrielle Ausbildung. Im Jahr 2010 wurde eine zentrale F&E-Abteilung innerhalb der Thöni Akademie geschaffen, die für sämtliche Geschäftsbereiche der Firma Thöni als interner Dienstleister zur Verfügung steht.

Somit können auch neue Projekte, wie z.B. die Errichtung einer Produktionsstätte für die splineTEX-Technologie, durchgeführt und eventuell zu neuen Geschäftsbereichen innerhalb der Firma Thöni entwickelt werden.⁸

1.2 Ziele der Masterarbeit

Für diese Masterarbeit wurden im Rahmen des Projekts „sT-2-Market“, zusammen mit der Firma Thöni, folgende Zielsetzungen vereinbart:

- Aufzeigen der Trends und Entwicklungen am Leichtbaumarkt, speziell am Faserverbundmarkt, mit Fokus auf den Automobilbereich.
- Darstellung des Stands der Technik der splineTEX-Technologie und Vergleich mit anderen, ähnlichen Verfahren.
- Analysieren der Wirtschaftlichkeit von splineTEX in Bezug auf ausgewählte Konkurrenzverfahren.
- Durchführung von Experteninterviews mit Personen aus verschiedenen Branchen, um eine Einschätzung für Anwendungsbereiche für die splineTEX-Technologie zu erhalten.
- Erhebung des Marktpotenzials mit Schwerpunkt des Automotive-Sektors.
- Erarbeiten einer Markteintrittsstrategie.

1.3 Untersuchungsbereich

Da es sich bei der splineTEX-Technologie um einen neuartigen Werkstoff auf Basis von faserverstärktem Kunststoff handelt, werden in dieser Masterarbeit generelle Entwicklungen des Bereichs Faserverbundwerkstoffe konkret betrachtet.

Der Untersuchungsbereich erstreckt sich zunächst durch eine Trend- und Entwicklungsanalyse hauptsächlich auf den industriellen Bereich, wie den Automobil- und den Luftfahrtbereich, nicht zuletzt, da die Firma Thöni besonders an einem Absatz der splineTEX-Technologie in hohen Stückzahlen im Bereich des Automobilbaus interessiert ist.

⁸ Vgl. THÖNI INDUSTRIEBETRIEBE GMBH: SMART COMPOSITE TUBE (2012), S.68f.

Für eine Konkurrenzanalyse können aufgrund der vielfältigen Verfahren nur einige, annähernd vergleichbare Konkurrenzverfahren herangezogen werden.

Gleiches gilt für diverse Mitbewerber, die ähnliche Produkte aus Faserverbund herstellen. Auch hier wird nur eine gezielte Auswahl an Unternehmen betrachtet, die mit ähnlichen Verfahren vergleichbare Bauteile herstellen.

2 Theoretische Grundlagen dieser Arbeit

Die theoretischen Grundlagen dieser Arbeit sind in zwei Bereiche unterteilt, zum einen in wirtschaftliche Grundlagen und zum anderen in technische Grundlagen.

In den wirtschaftlichen Grundlagen werden die im praktischen Teil verwendeten Methoden und Konzepte vorgestellt und erläutert. In den technischen Grundlagen wird ein Grundverständnis der verschiedenen Leichtbauweise mit Fokussierung auf die Herstellung von Faserverbundbauteilen gegeben.

2.1 Wirtschaftliche Grundlagen

In den wirtschaftlichen Grundlagen dieser Arbeit werden Vorgehensweisen, speziell für die Entwicklung und Marktsondierung von technologischen Innovationen, aufgezeigt. Da es sich bei der splineTEX-Technologie um ein klassisches Technology-Push-Projekt handelt, wird das generelle Vorgehen für derartige Innovationsprojekte beschrieben.

Des Weiteren werden Vorgehensweisen für eine strategische Marktanalyse und Marktforschung beschrieben. Um der Firma Thöni eine geeignete Strategie gegenüber dem Wettbewerb aufzuzeigen, werden mögliche Wettbewerbsstrategien nach Porter dargestellt. Mit der Produkt-Markt-Strategie nach Ansoff sollen mögliche Optionen für die systematische Entwicklung potentieller Wachstumsstrategien für die splineTEX-Technologie aufgezeigt werden.

2.1.1 Technology Push

Für die strategische Ausrichtung einer Innovation an der Schnittstelle zwischen F&E und des Marketings eines Unternehmens, muss zunächst analysiert werden, ob es sich um einen sog. „Technology-Push“ oder einen „Market-Pull“ handelt.

Bei einer Technology-Push handelt es sich um eine technologische Entwicklung, die, unabhängig von identifizierten Kundenbedürfnissen und -wünschen, am Markt eingeführt wird. Die Basis hierfür wird durch das unternehmensinterne Technologie- und Leistungspotential, meistens in der Forschung und Entwicklungsabteilung, gelegt. Radikale Innovationen mit hohem Ertragspotential sind meist die Folge einer Technology-Push-Strategie, die jedoch auch einen hohen Zeitaufwand fordert und mit erheblichen Risiken verbunden ist. Die Gefahr, mit einer neuen Technologie keine Märkte bzw. Abnehmer zu finden steht somit der Chance gegenüber, durch neue Technologien neue Märkte zu schaffen, wie in Abbildung 3 dargestellt ist.⁹

⁹ Vgl. www.wirtschaftslexikon.gabler.de (03.04.2013)

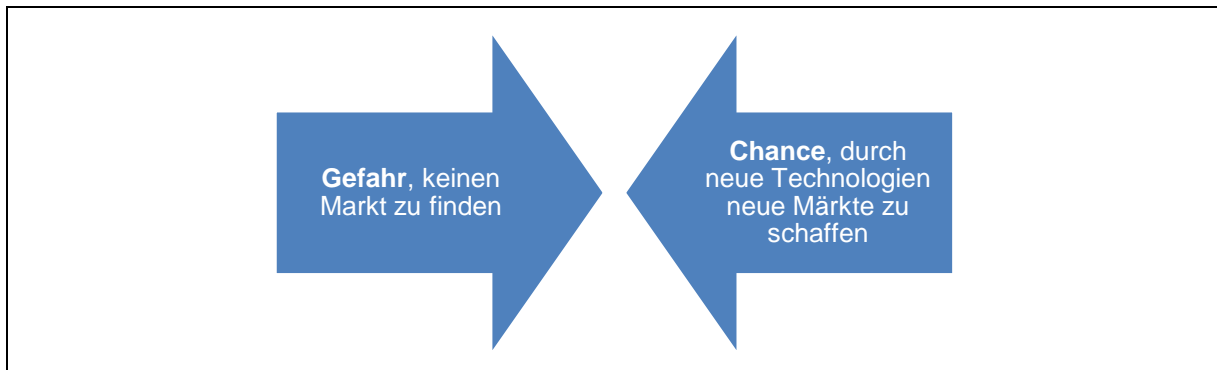


Abbildung 3: Chancen gegenüber Gefahren eines Technology-Push-Projektes¹⁰

Bei einem Technology-Push stellt somit eine neu entstandene bzw. eine neue Kombination aus bereits bestehenden Technologien die Triebfeder für innovative Produkte und Problemlösungen dar.¹¹

Im Gegensatz zu einem Technology-Push-Projekt geht das Market-Pull-Konzept davon aus, dass Produkt- und Prozessinnovationen durch latent unbefriedigte Kundenbedürfnisse generiert werden. Diese Kundenbedürfnisse können im Rahmen einer Marktforschung, z.B. durch Kundenbefragung, erfolgen.¹²

In Abbildung 4 ist ein Vergleich eines Technology-Push mit einem Market-Pull hinsichtlich der Informationsquelle, des Innovationsprozesses und der potentiellen Marktanwendungen dargestellt. Die Abgrenzung erfolgt hierbei über die Informationsquelle, den Innovationsprozess sowie den Bekanntheitsgrad der potentiellen Marktanwendungen.

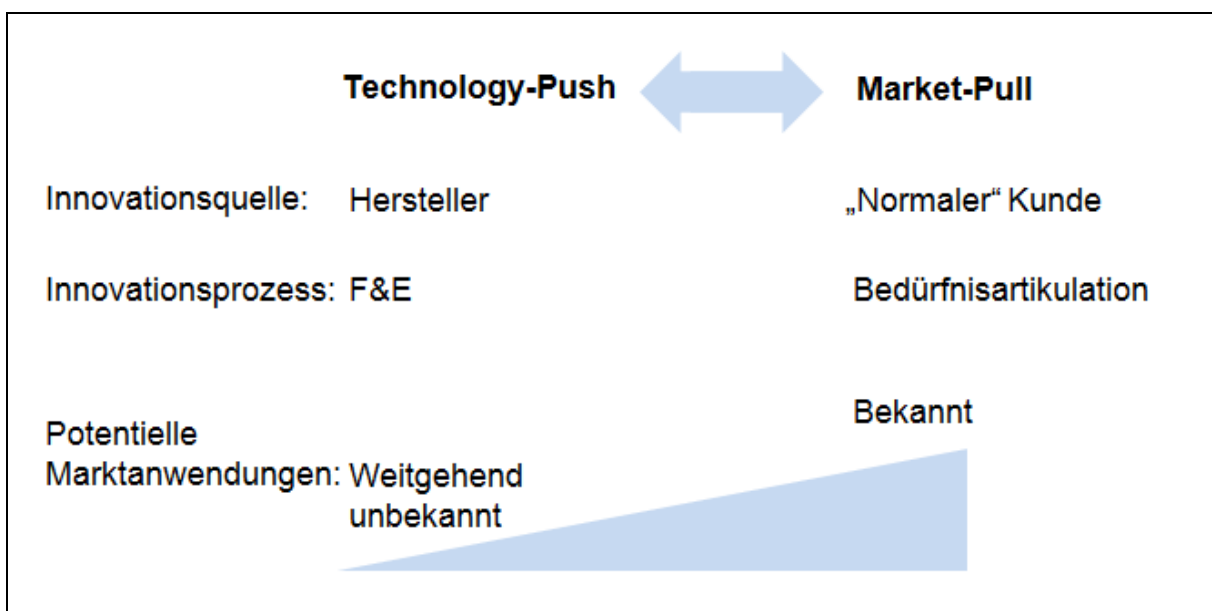


Abbildung 4: Vergleich Informationsquelle Technology Push vs. Market Pull¹³

¹⁰ Eigene Darstellung

¹¹ Vgl. HERSTATT, C.; LETTL, C. (2000), S. 2.

¹² Vgl. www.wirtschaftslexikon.gabler.de (03.04.2013)

¹³ Vgl. HIERLING, M. (2006), S. 5.

Ein Vergleich diverser Kriterien, durch die sich ein Technology-Push von einem Market-Pull unterscheidet, ist in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Vergleich diverser Kriterien Technology-Push gegenüber Market-Pull¹⁴

Kriterien:	Technology-Push:	Market-Pull:
Entstehung der Innovation	F&E	Markt
Potentielle Marktapplikationen	unbekannt	bekannt
Marktunsicherheit	hoch	niedrig
Technologische Unsicherheit	hoch	niedrig
Informationsgewinnung	explorierende Marktforschung: kontinuierlicher Begleit- und Teilprozess des Innovationsprozesses, explorativ-chancenorientierte Durchführung der Marktanalyse	konventionelle Marktforschung: klassische Aufgabe der Marketingabteilung, kontrollierend-analytische Durchführung der Marktanalyse
Zeithorizont	langfristig	kurzfristig
Erfahrungswissen Kunden	nicht vorhanden	vorhanden
Verhaltensänderung Kunden	meist erforderlich	nicht erforderlich
Frühzeitige Kundenintegration	problematisch	unproblematisch
Markteintrittszeitpunkt	unsicher	relativ sicher
Innovationsprozess	„Probe-and-Learn“ bzw. „Lead-User“- Prozess	„Stage-Gate“- Prozess

Für den Innovationsprozess bei einem Technology-Push-Projekt können zwei verschiedene Prozesse herangezogen werden, das „Probe-and-Learn“ sowie der „Lead-User“-Prozess. Für ein Market-Pull-Projekt wird für den Innovationsprozess die Vorgehensweise des „Stage-Gate“-Prozesses verwendet.

Für den „Stage-Gate“-Prozess wird der Innovationsprozess in mehrere Phasen unterteilt, die nacheinander durchlaufen werden. Dabei wird nach jeder Phase das Projekt geprüft, ob eine Fortsetzung sinnvoll ist oder das Projekt abgebrochen werden soll. Die einzelnen Stufen des „Stage-Gate“-Prozesses sind: Ideengenerierung, Konzeptentwicklung, Produktentwicklung, Markttest sowie Markteinführung.¹⁵

Da bei Technology-Push-Projekten jedoch die Gefahr besteht, dass ein Produkt am Kunden vorbei entwickelt wird, ist es hier sinnvoller, den „Lead-User“ bzw. den „Probe-and-Lern“ Prozess heranzuziehen. Bei der „Lead-User“-Methode geht es um die systematische Einbeziehung der Kunden während bestimmter Phasen des Produktentwicklungsprozesses. Bei „Lead-Usern“ handelt es sich um Kunden, die einen bestimmten Trend anführen und sich

¹⁴ Vgl. GASSMANN, O.; KOBE, C. (2006), S. 157 sowie HERSTATT, C.; LETTL, C. (2000), S. 12 sowie VELTEN, C. (2010), S. 169f.

¹⁵ Vgl. www.b4development.com (15.05.2013)

dadurch von durchschnittlichen Kunden und Produktnutzern, in Form ihre Expertenfunktion im Hinblick auf eine spezifische Innovation oder ein spezifisches Produkt, abheben.¹⁶

Lead-User sind durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- „Lead-User“ haben eine Trendsetter-Rolle inne, d.h. sie identifizieren Bedürfnisse früher als der übrige Markt.¹⁷
- „Lead-User“ verfügen über ein überdurchschnittlich hohes Produktinvolvement.¹⁸
- „Lead-User“ unterliegen einem erheblichen Effizienzdruck, was die Weiterentwicklung bestehender Produkte fördert.¹⁹

Identifikation und Einbeziehung von „Lead-Usern“ in den Produktentwicklungsprozess:

1. **Technologische Trendbestimmung:** Vor der Identifikation von Lead-Usern müssen wichtige Technologietrends erfasst und in weiterer Folge bei der Auswahl der potentiellen „Lead-User“ berücksichtigt werden.²⁰
2. **Identifikation von „Lead-Usern“:** Die Auswahl und Identifizierung von „Lead-Usern“ sollte anhand einer Kriterienliste aus den aktuellen und potentiellen Kundengruppen sowie auch aus der Gruppe der Nutzer von Konkurrenzprodukten erfolgen.²¹
3. **„Lead-User“ Konzeptentwicklung:** Die „Lead-User“ sollen mittels Workshops zur Generierung und Erarbeitung von Produktverbesserungsvorschlägen und deren Umsetzung in den Produktentwicklungsprozess mit einbezogen werden. Dabei ist es sinnvoll, die „Lead-User“ mit den unterschiedlichen Bereichen des Herstellers in Verbindung zu bringen, die sich mit der Produktentwicklung befassen, wie z.B. F&E, Produktion und Marketing.²²
4. **Konzeptakzeptanz:** Um sicher zu stellen, dass die neuen Produktkonzepte eine breite Marktakzeptanz erfahren, können die Produktkonzepte, die in Zusammenarbeit mit den „Lead-Usern“ entwickelt wurden, mit Anwenderbefragungen abgeglichen werden.²³

¹⁶ Vgl. SCHÄPPI, B. et al. (2005), S. 155.

¹⁷ Vgl. SCHÄPPI, B. et al. (2005), S. 155.

¹⁸ Vgl. SCHÄPPI, B. et al. (2005), S. 155.

¹⁹ Vgl. SCHÄPPI, B. et al. (2005), S. 155.

²⁰ Vgl. SCHÄPPI, B. et al. (2005), S. 155.

²¹ Vgl. SCHÄPPI, B. et al. (2005), S. 155.

²² Vgl. SCHÄPPI, B. et al. (2005), S. 155.

²³ Vgl. SCHÄPPI, B. et al. (2005), S. 155.

Durch die frühe Einbindung des „Lead-Users“ in den Produktentwicklungsprozess, wird der Zeitaufwand für die Suche nach neuen Produktideen deutlich reduziert. Außerdem wird durch das „Lead-User“-Konzept die Informationsqualität deutlich erhöht. Vorhandenes Konfliktpotential zwischen den einzelnen Bereichen wie F&E, Produktion und Marketing wird sukzessive abgebaut. Durch das „Lead-User“-Konzept wird eine höhere Kundenakzeptanz bei der Markteinführung für das neue Produkt erreicht.²⁴

Ein ähnlicher Ansatz zu dem zuvor aufgezeigten „Lead-User“-Konzept ist der iterativ angelegte „Probe-and-Learn“-Prozess. Dieser berücksichtigt ebenfalls die Besonderheiten eines „Technology-Push“-Projekts. „Probing and Learning“ bedeutet hierbei, dass potentielle Kunden, genau wie bei der „Lead-User“-Methode, in einem sehr frühen Entwicklungsstadium der Technologie mit einem noch nicht vollständig ausgereiften Prototypen konfrontiert werden, um dadurch als Entwickler der Innovation technische und wirtschaftliche Anhaltspunkte für die Weiterentwicklung zu erlangen. Der Unterschied besteht jedoch darin, dass dieser Prozess permanent mit demselben „Lead-User“ wiederholt wird, um somit schrittweise Markt- und Technologieunsicherheiten abzubauen. Dadurch kann die Innovation auf die entsprechenden Kundenwünsche angepasst werden. Der „Probe-and-Learn“-Prozess setzt einen während der Entwicklung sehr früh eintretenden Informationsaustausch zwischen den wichtigen Bereichen F&E und Marketing voraus. Bei den meisten technologiegetriebenen Projekten findet jedoch in der Praxis nur selten ein frühzeitiger Dialog zwischen diesen beiden Bereichen statt. Diese Tatsache birgt hohes Konfliktpotential, da das Marketing oftmals eine schnelle Vermarktbarkeit anstrebt, was für „Technology-Push“- Projekte jedoch nicht gegeben ist.²⁵

Ein möglicher Nachteil der „Lead-User“-Methode bzw. des „Probe-and-Lern“-Prozesses, der bei revolutionären Neuentwicklungen auftreten kann, ist die Geheimhaltung von Innovationen, da dem Kunden bei diesem Ansatz in einem sehr frühen Entwicklungsstadium sehr viel Information preisgegeben wird.²⁶

Allerdings findet heute in der praktischen Umsetzung dieser Konzepte kaum eine derart scharfe Trennung von „Technology-Push“ und „Market-Pull“ statt. Oftmals werden hybride Formen dieser beiden Prozesse herangezogen. Dabei arbeiten die Abteilungen F&E, Marketing, Vertrieb, Fertigung und Service anteilig an den Innovationsprojekten zusammen.²⁷ Aus der Kombination der „Technology-Push“-Methode und der „Lead-User“-Methode hat sich das sogenannte „Technology-Push-Lead-User“-Konzept, abgekürzt „T-PLUC“, entwickelt. Bei diesem Ansatz werden die folgenden fünf Schritte durchgeführt, wie in Abbildung 5 dargestellt.

²⁴ Vgl. SCHÄPPI, B. et al. (2005), S. 155f.

²⁵ GASSMANN, O.; KOBE, C. (2006), S.156 f.

²⁶ Vgl. SCHÄPPI, B. et. al (2005), S.156.

²⁷ Vgl. HERSTATT, C.; LETTL, C. (2000), S. 4.

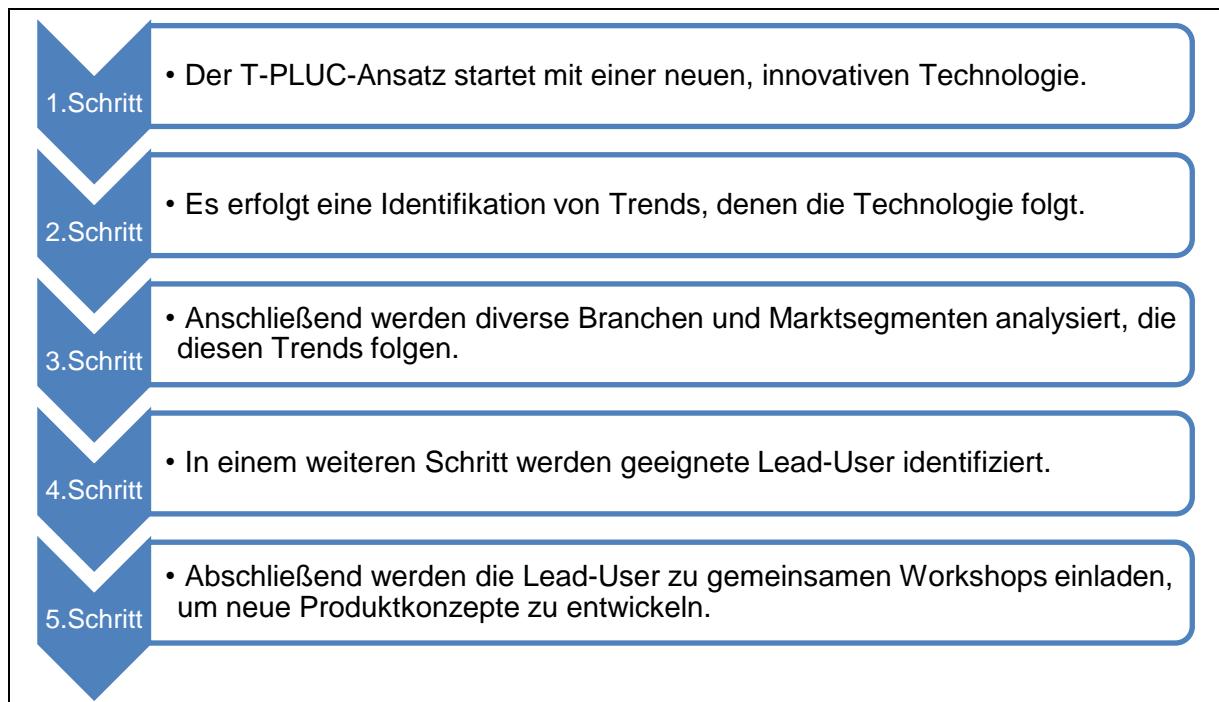


Abbildung 5: Vorgehensweise „T-PLUC“-Ansatz²⁸

Dieses Konzept stellt somit eine mögliche Vorgehensweise für ein „Technology-Push“-Projekt dar, bei dem aktiv nach geeigneten „Lead-Usern“ gesucht wird, um diese dann sehr frühzeitig in den Entwicklungsprozess mit einzubeziehen.

2.1.2 Strategische Marktanalyse

Um für ein bestimmtes Produkt die aktuell gegebenen Markteigenschaften in Erfahrung zu bringen, können verschiedene Methoden herangezogen werden.

Da es sich bei der splineTEX-Technologie um eine Produktinnovation handelt, für die vor ihrer Entwicklung keine konkrete Nachfrage bestand, muss vor der Suche nach geeigneten Märkten zunächst mit der Suche nach möglichen Produktanwendungen begonnen werden.

Einen ersten Überblick über den Markt liefern die Fragen der Marktdefinition nach Abell:²⁹

1. Funktion: Was kann unser Produkt?
2. Technologie: Welche Technologie setzen wir ein?
3. Marktsegment: Welche Kundensegmente sprechen wir an?
4. Wirtschaftsstufe: Auf welcher Stufe der Wertschöpfungskette befinden wir uns mit unserem Produkt?

Generell kann in der Marktforschung zwischen strategischer und operativer Informationsbeschaffung unterschieden werden. Bei der strategischen

²⁸ Vgl. HENKEL, J.; JUNG, S. (2009), S.5f.

²⁹ Vgl. KAMENZ, U. (2001), S. 26.

Informationsbeschaffung liegt der Fokus auf der langfristigen Entwicklung von Märkten. Dabei sollen nachfragerrelevante Trends frühzeitig erkannt werden. Bei der operativen Informationsbeschaffung bezieht sich die Marktforschung auf eine abgegrenzte Zeitspanne.³⁰

Um ein Marketingproblem besser verstehen und beurteilen zu können, kann es sinnvoll sein, die Schritte des Marktforschungsprozess zu durchlaufen:



Abbildung 6: Der Marktforschungsplan³¹

Der erste Schritt des Marktforschungsplanes ist die genaue Konkretisierung des Forschungs- und Entwicklungsproblems und die daraus abgeleiteten Forschungsziele.³²

Aufbauend darauf erfolgt im zweiten Schritt die Entwicklung eines effizienten Plans zum Erlangen der nötigen Informationen. Zur Erstellung eines Untersuchungsplans kann sowohl die Primär- als auch Sekundärdatenforschung herangezogen werden. Für die Erhebung von Primärdaten können z.B. Interviews, Experimente, Gruppendiskussionen usw. durchgeführt werden. Unter Sekundärdaten wird die Auswertung von bereits vorhandenem Datenmaterial, z.B. Studien, Artikel, Statistiken usw., verstanden. Der Vorteil von primären gegenüber sekundären Daten besteht in den konkreten Aussagen, die genau für diesen Sachverhalt erhoben werden. Allerdings ist diese Methode auch meist teurer und aufwendiger als die Analyse von Sekundärdaten.³³

Nachdem das Forschungsziel und das generelle Vorgehen konkretisiert wurden, erfolgt im dritten Schritt des Marktforschungsprozesses die Erhebung der relevanten Daten. Dies kann für die primäre Datenforschung zum einen durch persönliche Interviews oder durch telefonische Befragung bzw. Onlinebefragung durchgeführt werden. Für die sekundäre

³⁰ Vgl. BECKER, F. (2006)

³¹ Vgl. KOTLER, P. et al. (2007), S. 163.

³² Vgl. KOTLER, P. et al. (2007), S. 164.

³³ Vgl. KOTLER, P. et al. (2007), S. 165ff.

Datenforschung werden in der Regel aktuelle Studien und Statistiken, aber auch Artikel aus Fachzeitschriften und aktuelle Literatur herangezogen.³⁴

Nach der Erhebung der Daten werden die vorliegenden Informationen ausgewertet. Dabei werden die Daten auf das Wesentliche verdichtet, analysiert und gegliedert.³⁵

Abschließend werden die Forschungsergebnisse aufbereitet und präsentiert, um das Management eines Unternehmens bei Entscheidungen über die weitere Vorgehensweise zu unterstützen.³⁶

Mit dieser Vorgehensweise ist eine konkrete und strategische Analyse geeigneter Märkte möglich. Anhand von primärer und sekundärer Datenforschung können relevante Informationen erhoben werden. In dieser Arbeit wurden zunächst in einer Sekundärmarktforschung Studien und Fachartikel zum Thema Einsatz von Faserverbund ausgewertet. Anschließend wurden in einer Primärmarktforschung Experteninterviews und ein „Lead-User“-Gespräch durchgeführt, um das Potenzial und mögliche Anwendungen für die splineTEX-Technologie in Erfahrung zu bringen.

2.1.3 Wettbewerbsstrategien

Für eine geeignete Positionierung gegenüber den Mitbewerbern am Markt können nach Porter verschiedene Wettbewerbsstrategien verfolgt werden, um sich einen deutlichen Wettbewerbsvorteil zu sichern.

1. Umfassende Kostenführerschaft:

Bei dieser Strategie liegt das Ziel darin, durch eine Reihe von Maßnahmen einen umfassenden Kostenvorsprung innerhalb einer Branche zu erlangen. Dies erfordert den aggressiven Aufbau von effizienten Produktionsanlagen sowie die konsequente Kostensenkungen in allen Bereichen wie Produktion, Distribution, usw. Dadurch wird gegenüber dem Wettbewerb der strategische Vorteil der Kostenführerschaft erreicht.³⁷

2. Differenzierung:

Mit einer klar differenzierten Produktlinie konzentriert sich ein Unternehmen darauf, eine Präferenz bei den Konsumenten für das eigene Produkt aufzubauen. Eine Differenzierung gegenüber dem Wettbewerb kann auf einer oder mehreren Ebenen stattfinden, z.B. Differenzierung durch die Produktqualität. In diesem Fall wird die Strategie der Qualitätsführerschaft verfolgt. Die Differenzierungsstrategie schließt meist einen hohen Marktanteil aus.³⁸

³⁴ Vgl. KOTLER, P. et al. (2007), S. 184.

³⁵ Vgl. KOTLER, P. et al. (2007), S. 185.

³⁶ Vgl. KOTLER, P. et al. (2007), S. 185f.

³⁷ Vgl. PORTER (1992), S. 63ff.

³⁸ Vgl. PORTER (1992), S. 65f.

3. Konzentration auf Schwerpunkte:

Bei dieser Strategie bemüht sich ein Unternehmen, durch die Konzentration auf Marktnischen, d.h. auf ein bestimmtes Segment oder einen geographisch abgegrenzten Markt, diese besonders gut bedienen zu können. Dabei wird der restliche Markt, z.B. die Niedrigpreissegmente, den anderen Unternehmen überlassen.³⁹

Abbildung 7 zeigt die Unterschiede der drei Strategietypen auf.

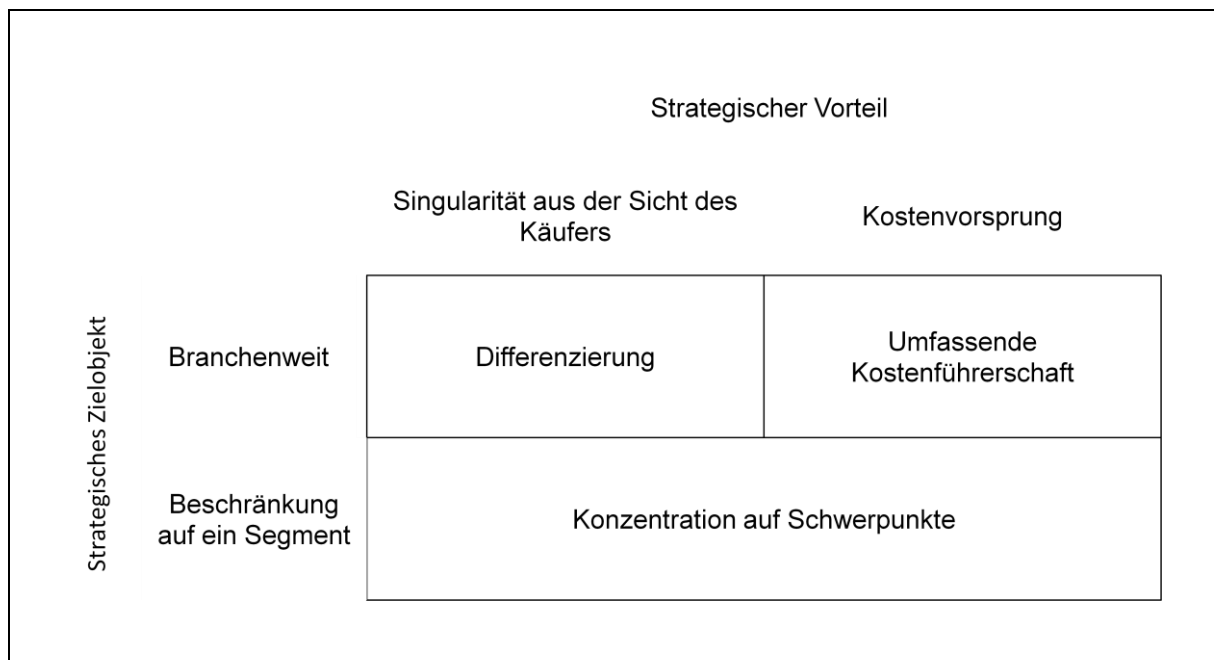


Abbildung 7: Wettbewerbsstrategien nach Porter⁴⁰

Verfolgt ein Unternehmen keine der genannten Strategien, sondern verharrt es in einer unentschlossenen Mittelposition, spricht man vom sogenannten „Stuck in the middle“, wodurch eine schlechte strategische Ausgangsposition entsteht.⁴¹

2.1.4 Produkt - Markt - Strategie

Die Produkt - Markt - Matrix nach Ansoff stellt vier mögliche Optionen für die systematische Entwicklung potentieller Wachstumsstrategien für Unternehmen dar, wenn dem Unternehmensportfolio neue Produkte oder neue Geschäftsfelder hinzugefügt werden sollen.⁴²

In Abbildung 8 sind die unterschiedlichen Wachstumsmöglichkeiten in der Ansoff - Matrix dargestellt.⁴³

³⁹ Vgl. PORTER (1992), S. 67f.

⁴⁰ In Anlehnung an PORTER (1992), S. 67ff.

⁴¹ Vgl. BAUER, U. (2013), S. 1ff.

⁴² Vgl. KOTLER, P. et al. (2010), S.180.

⁴³ Vgl. KOTLER, P. et al. (2010), S.181.

Markt	Bestehende Produkte	Neue Produkte
Produkt		
Bestehende Märkte	Marktdurchdringung	Produktentwicklung
Neue Märkte	Marktentwicklung	Diversifikation

Abbildung 8: Produkt - Markt - Matrix nach Ansoff

Ausgehend von der Auswahl bestehender bzw. neuer Märkte sowie bestehender bzw. neuer Produkte unterscheidet man folgende Strategien:

1) Marktdurchdringungsstrategie:

Mit der Marktdurchdringungsstrategie wird der Versuch unternommen, mit einem aktuellen Produkt einen größeren Anteil am gegenwärtigen Markt zu erlangen. Dies kann zum einem durch Abwerben der Kunden der Konkurrenz geschehen oder durch das Anregen der eigenen Kunden, das aktuelle Produkt in größerem Ausmaß zu erwerben. Auch kann der Versuch unternommen werden, neue Anwender, die bisher keine Konsumenten des Produktes waren, als Kunden zu gewinnen.⁴⁴

2) Marktentwicklungsstrategie:

Bei dieser Strategie begibt sich das Unternehmen auf die Suche nach neuen Märkten für ein bestehendes Produkt. Dafür können beispielsweise neue Marktsegmente oder neue Absatzkanäle erschlossen werden. Auch besteht die Möglichkeit, neue geografische Märkte zu bearbeiten, um Marktanteile dazu zu gewinnen.⁴⁵

3) Produktentwicklungsstrategie:

Ein Unternehmen sollte auch immer die Strategie der Entwicklung eines neuen Produkts für bestehende Märkte in Betracht ziehen. Dadurch können bestehende Kunden für das neue Produkt, aber auch neue Kunden hinzugewonnen werden.⁴⁶

⁴⁴ Vgl. KOTLER, P. et al. (2007), S.106.

⁴⁵ Vgl. KOTLER, P. et al. (2007), S.106.

⁴⁶ Vgl. KOTLER, P. et al. (2007), S.106.

4) Diversifikationsstrategie:

Die Diversifikationsstrategie bietet sich für eine Innovation an, d.h., die Entwicklung eines neuen Produktes, mit dem sich das Unternehmen außerhalb seiner bisherigen Tätigkeitsfelder befindet und auf Produktneuland begibt. Dabei müssen folgende drei Diversifikationsarten unterschieden werden:⁴⁷

- **Horizontale Diversifikation:** Bei dem neuen Produkt handelt es sich um ein ähnliches Produkt wie bisher.⁴⁸
- **Vertikale Diversifikation:** Bei dem neuen Produkt handelt es sich um ein vor- oder nachgeschaltetes Produkt.⁴⁹
- **Laterale Diversifikation:** Bei dem neuen Produkt besteht kein Zusammenhang zu aktuellen Produkten.⁵⁰

Die Erfolgswahrscheinlichkeit der genannten Strategien ergibt laut empirischen Untersuchungen folgende Werte, wie in Abbildung 9 dargestellt.

Markt	Bestehende Produkte	Neue Produkte
Produkt		
Bestehende Märkte	Erfolgswahrscheinlichkeit: 50% Aufwand: x	Erfolgswahrscheinlichkeit: 20% Aufwand: 4x
Neue Märkte	Erfolgswahrscheinlichkeit: 33% Aufwand: 8x	Erfolgswahrscheinlichkeit: 5% Aufwand: 16x

Abbildung 9: Prozentuale Verteilung Erfolgswahrscheinlichkeit⁵¹

Es wird deutlich, dass die Diversifikationsstrategie einen Aufwand um 16x gegenüber der Marktdurchdringungsstrategie mit dem Ausgangswert x bedeutet, jedoch nur 5% Erfolgswahrscheinlichkeit aufweisen kann.

Diese Auswertung beruht auf dem sogenannten Synergieeffekt, der besagt, dass der Nutzen einer Anstrengung größer ist, wenn sie auf Bestehendem aufbaut.⁵²

⁴⁷ Vgl. BAUER, U. (2013), S. 1ff.

⁴⁸ Vgl. BAUER, U. (2013), S. 1ff.

⁴⁹ Vgl. BAUER, U. (2013), S. 1ff.

⁵⁰ Vgl. BAUER, U. (2013), S. 1ff.

⁵¹ Vgl. BAUER, U. (2013), S. 1ff.

⁵² Vgl. BAUER, U. (2013), S. 1ff.

Generell ergeben sich für die Zusammensetzung des Produktprogramms folgende Möglichkeiten.⁵³

- **Produktveränderung:**
 - **Variation:** Ein bisheriges Produkt wird durch eine neue Ausführung ersetzt.
 - **Differenzierung:** Zu den vorhandenen Produkten werden zusätzliche Produktausführungen angeboten.
- **Produktdiversifikation:** Neue Produkte werden auf neuen Märkten angeboten.
- **Produktinnovation:** Neue Produkte werden entwickelt.
- **Produkteliminierung:** Die Herstellung und der Verkauf von vorhandenen Produktvarianten, -linien oder -gruppen wird eingestellt.

Die Entwicklung neuer Produktinnovationen ist dabei von besonderem Interesse. Zwar entsteht aufgrund der hohen Kostenintensität des Produktentwicklungsprozesses ein höheres Risiko für das Unternehmen, allerdings kann durch eine erfolgreiche Produktinnovation auch ein höheres Gewinnpotenzial erreicht werden. Jedoch kann ein Fehlschlagen des Innovationsprozesses langfristige negative Folgen für das Unternehmen bedeuten.⁵⁴

2.2 Technische Grundlagen

In den technischen Grundlagen dieser Arbeit wird ein Überblick über die diversen Arten der Leichtbauweise sowie die verwendeten Werkstoffklassen gegeben. Da es sich bei der splineTEX-Technologie um einen faserverstärkten Verbundwerkstoff handelt, wird auf den Bereich dieses Werkstoffes näher eingegangen. Es werden Vorteile gegenüber anderen Werkstoffen erläutert und die verschiedenen Fasermaterialien vorgestellt.

2.2.1 Prinzip der Leichtbauweise

Generell können vier verschiedene Leichtbauweisen unterschieden werden:⁵⁵

- Differenzialbauweise:
Bei der Differenzialbauweise werden Einzelteile punktuell miteinander verbunden, beispielsweise durch Nieten oder Bolzen.

⁵³ Vgl. MÜLLER, D. (2006), S. 100.

⁵⁴ Vgl. MÜLLER, D. (2006), S. 100.

⁵⁵ Vgl. WIEDEMANN, J. (2007), S. 8.

- Integralbauweise:
Bei der Integralbauweise wird ein Bauteil aus einem Stück geformt, beispielsweise eine Platte oder eine Schale mit ausgefrästen Stegen und Rippen.
- Integrierende Bauweise:
Bei der integrierenden Bauweise handelt es sich um eine organische Einheit, die aus mehreren verbundenen Einzelteilen besteht, beispielsweise eine Haut mit aufgeklebten Verstärkungen oder ein Trägerprofil, aufgebaut aus Blechlamellen.
- Verbundbauweise:
Die Verbundbauweise kombiniert zweckvoll verschiedene Materialien nach ihren spezifischen Eigenschaften, beispielsweise eine Sandwichplatte mit steifer Blechhaut und einem Schaumstoff- oder Wabenkern mit hohem spezifischem Volumen, wie in Abbildung 10 dargestellt ist. Dazu zählen auch die faserverstärkten Kunststoffe, die z.B. durch Kohle-, Glas- oder Aramidfasern verstärkt werden.

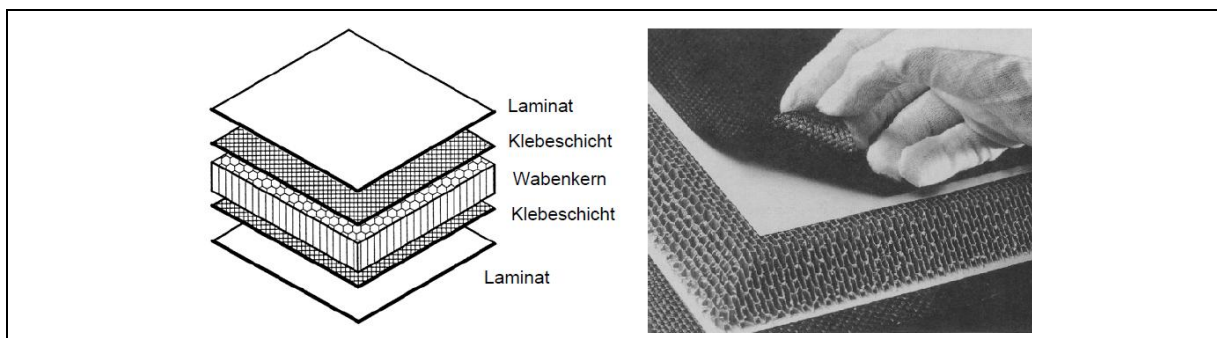


Abbildung 10: Sandwichbauweise⁵⁶

Die Leichtbauweise auf drei Säulen:

Durch Leichtbauweise lassen sich maximale Gewichtseinsparungen bei gleicher oder besserer Steifigkeit, Kosteneffizienz sowie Betriebsfestigkeit umsetzen. Bei konventioneller Metallverarbeitung basiert der Leichtbau auf zwei der drei grundlegenden Säulen des Leichtbaus, dem Systemleichtbau sowie dem Strukturleichtbau. Nur durch die dritte Säule, dem Materialleichtbau, ist die Umsetzung von hohen Gewichtseinsparungen möglich. Hierbei kommen hochsteife bzw. hochfeste und gleichzeitig sehr leichte Materialien zum Einsatz, wie Faserverbundkunststoffe, die sich dank hoher spezifischer Festigkeiten und Steifigkeiten als Leichtbauwerkstoffe eignen. Weitere Vorteile der Faserverbundkunststoffe, gegenüber Stahl, ergeben sich aus der Dauerfestigkeit, der Dämpfung sowie der Wärmeausdehnung.⁵⁷

Eine Einteilung der Werkstoffklassen ist in Abbildung 11 dargestellt.

⁵⁶ Vgl. ERMANNI, P. (2007), S. 6-7.

⁵⁷ Vgl. www.iwu.fraunhofer.de (23.03.2013)

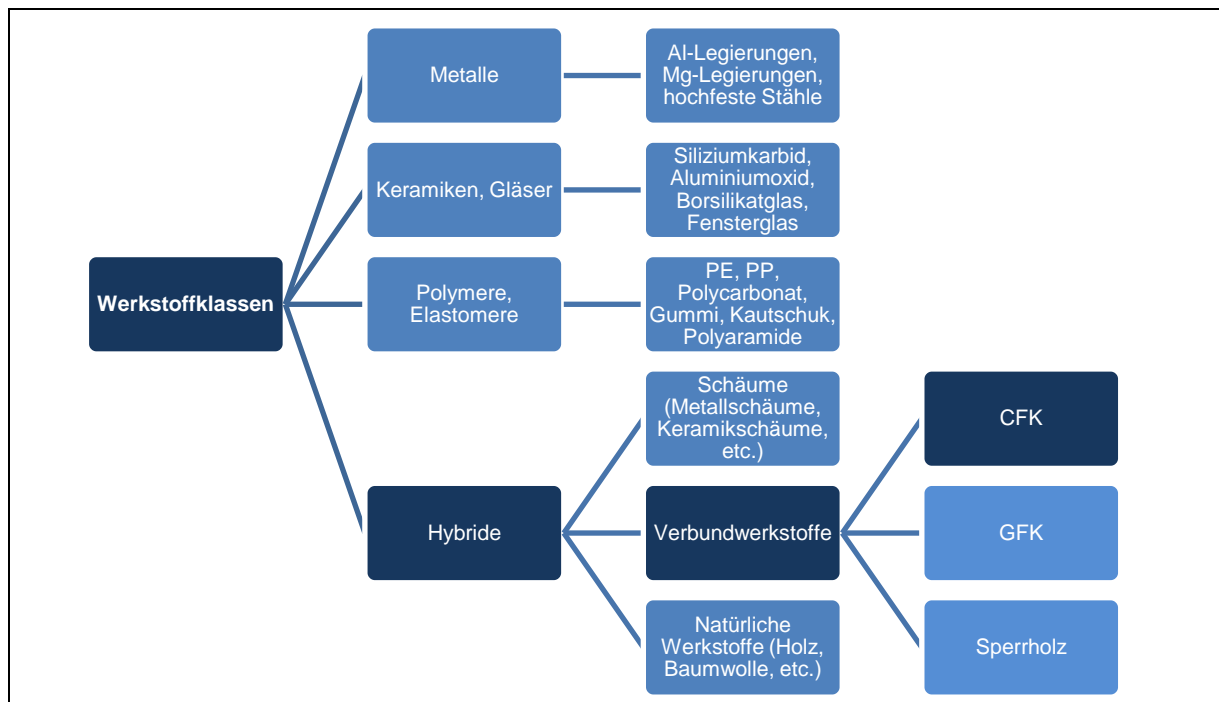


Abbildung 11: Übersicht über die Werkstoffklassen⁵⁸

Aus dieser Einteilung der Werkstoffe geht hervor, dass die Verbundwerkstoffe zu den sogenannten hybriden Werkstoffen zählen, da sie aus verschiedenen Werkstoffarten zusammengesetzt sind, wie in Kapitel 2.2.2 näher erläutert wird. Zu den metallischen Leichtbaumaterialien zählen Aluminium- sowie Magnesiumlegierungen und hochfeste Stähle. Aber auch Keramiken und Gläser, sowie Polymere und Elastomere werden als Leichtbaumaterialien eingesetzt.

2.2.2 Prinzip der Faserverbundkunststoffe (FVK)

Faserverstärkte Kunststoffe bestehen grundsätzlich aus der Kombination einer textilen Verstärkungsstruktur, der Fasern, sowie eines Matrixwerkstoffes, für den diverse Kunststoffe (Harze) zum Einsatz kommen.

Die Vorteile der FVK gegenüber anderen Werkstoffen, wie z.B. Metallen, sind die hohe spezifische Festigkeit und spezifische Steifigkeit, bezogen auf das Gewicht. Dies gilt insbesondere für unidirektionale Faserverbunde, deren hervorragende Eigenschaften durch eine Belastung in Faserrichtung optimal ausgenutzt werden und somit mehr als das Fünffache der Steifigkeiten und Festigkeiten gegenüber Stahl erreicht werden können, wie in Abbildung 12 dargestellt ist.

⁵⁸ In Anlehnung an HENNING, F.; MOELLER, E. (2011), S. 163.

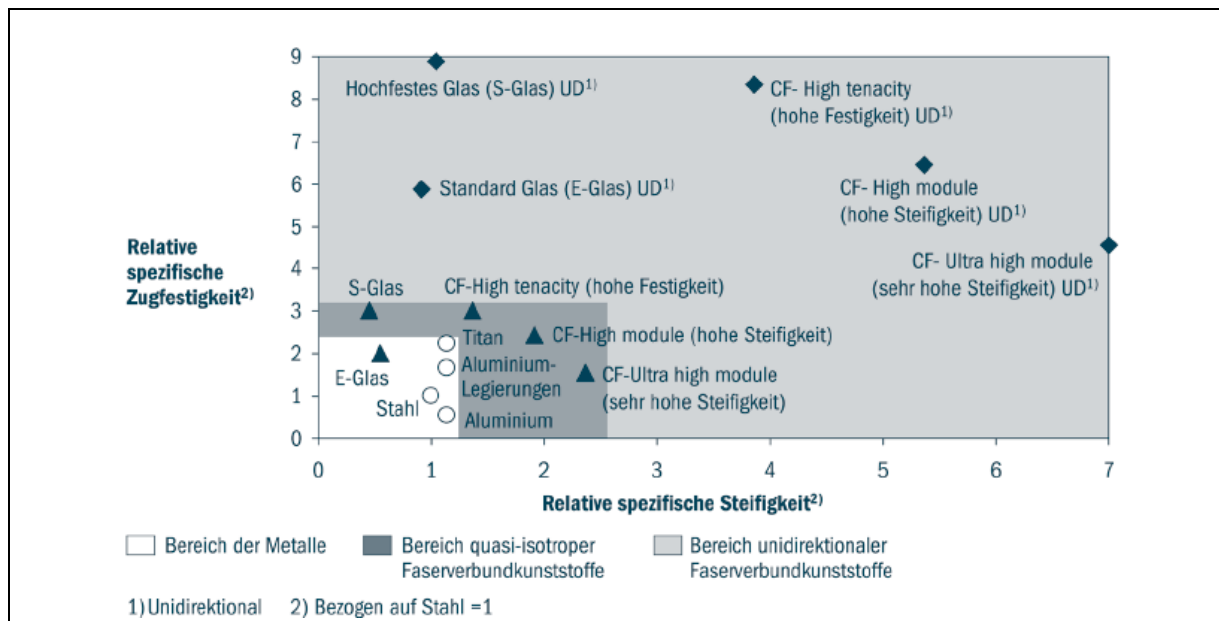


Abbildung 12: Vergleich Zugfestigkeit/Steifigkeit⁵⁹

Die Einflussfaktoren auf die Herstellverfahren, Leistungseigenschaften und Kosten der FVK sind zum einen die verwendeten Faser- und Matrixmaterialien, aber auch die Art bzw. Struktur der Fasern, wie z.B. die Faserlänge.

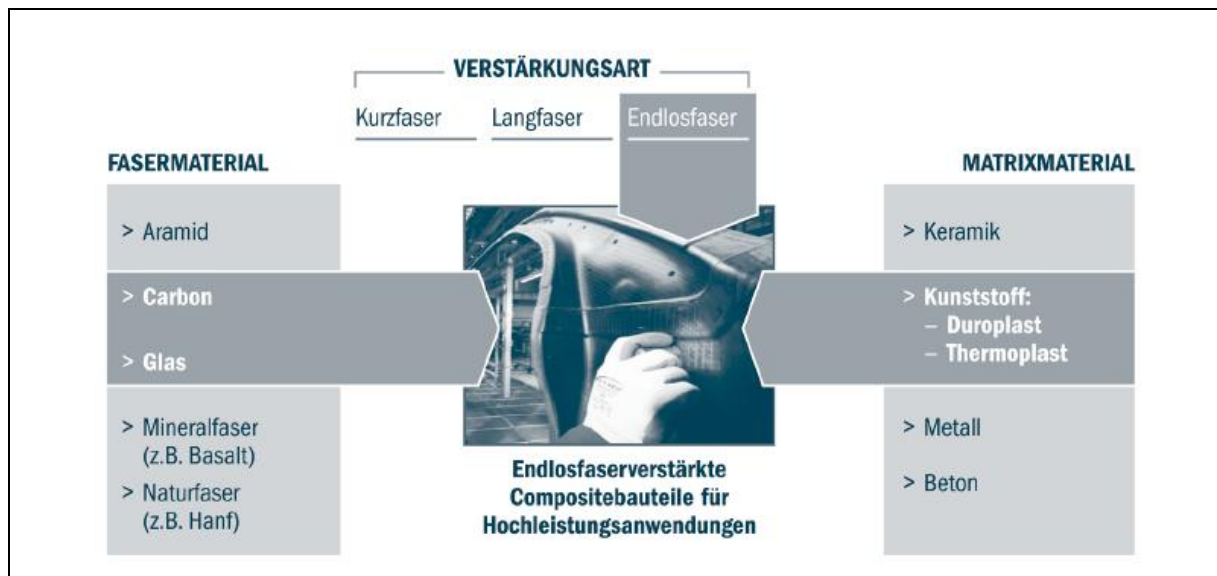
Als Fasermaterial kommen bei FVK hauptsächlich Kohle- und Glasfasern zum Einsatz. Für manche Anwendungen werden auch Aramidfasern, Basaltfasern (Mineralfasern) oder Naturfasern, wie Hanf, verarbeitet. Allerdings lassen sich mechanisch hoch beanspruchte Bauteile ausschließlich aus nahezu endlosen Fasern realisieren, was derzeit nur durch die Verwendung von Kohle- und Glasfasern möglich ist.⁶⁰

In Abbildung 13 ist ein Überblick über die mögliche Zusammensetzung der FVK dargestellt. Die Fasern können in Form von Kurz-, Mittel- oder Langfasern vorliegen. Für Hochleistungsanwendungen wird vorwiegend Endlosfasermaterial eingesetzt. Neben Keramik, Beton und Metall werden als Matrixwerkstoffe, im industriellen Bereich, hauptsächlich polymere Werkstoffe eingesetzt, die sich in Duroplaste und Thermoplaste unterteilen lassen. Duroplaste weisen durch ihre dreidimensional vernetzten Strukturen hohe Steifigkeits- und Festigkeitswerte auf, sind jedoch meist spröde und haben eine Bruchdehnung von nur wenigen Prozent. Thermoplaste werden wegen ihrer höheren Zähigkeit gegenüber Duroplasten als Matrixwerkstoff eingesetzt. Jedoch erreichen nur wenige thermoplastische Verbundwerkstoffe die gleiche Steifigkeit und Chemikalienbeständigkeit duroplastischer Faserverbundwerkstoffe.⁶¹

⁵⁹ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 9.

⁶⁰ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 7.

⁶¹ Vgl. EHRENSTEIN, G. (2006), S. 51.

Abbildung 13: Faserverbund im Überblick⁶²

Wie bereits erwähnt, weisen die diversen Fasermaterialien unterschiedliche Eigenschaften auf:

- **Kohlefasern:**

Bei Kohlenstofffasern handelt es sich um technisch hergestellte Fasern mit extrem hoher Festigkeit und Steifigkeit, jedoch auch mit einer geringen Bruchdehnung. Über eine unschmelzbare Zwischenstufe werden die Ausgangsmaterialien unter Formerhalt karbonisiert, wodurch nahezu alle Elemente, bis auf den Kohlenstoff, abgespalten werden, der dann zu Kohlefasern verarbeitet wird.⁶³

- **Glasfasern:**

Bei Glasfasern handelt es sich um aus geschmolzenem Glas gesponnene, dünne Fasern (3,5 – 24 Mikrometer) mit hohen Festigkeiten und E-Modulwerten. Im Gegensatz zu Kohle- und Aramidfasern sind Glasfasern, aufgrund ihrer amorphen Struktur, isotrop, d.h., es liegt eine Richtungsunabhängigkeit bezüglich der Werkstoffeigenschaften vor.⁶⁴

- **Aramidfasern:**

Aramidfasern werden aus polymeren Kunststoffen hergestellt. Sie werden bevorzugt für Anwendungen, bei denen es auf eine besonders hohe Energieaufnahme ankommt, eingesetzt. Dazu zählen beispielsweise schussichere Westen, Schutzhelme oder gepanzerte Fahrzeuge. Aramidfasern spielen aktuell für eine breite Serienherstellung von hochbelastbaren Bauteilen keine wesentliche Rolle.

⁶² Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 6.

⁶³ Vgl. EHRENSTEIN, G. (2006), S. 36.

⁶⁴ Vgl. EHRENSTEIN, G. (2006), S. 19.

Naturfasern und Mineralfasern, wie Hanf- oder Basaltfasern, können im Bereich der Endlosfaserverstärkung nicht eingesetzt werden, da sie in der Natur nur in Form von Kurzfasern vorkommen.⁶⁵

Ein Vergleich der diversen Eigenschaften von glasfaserverstärkten Kunststoffen (GFK), kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK), auch Carbon genannt, sowie aramidfaserverstärkten Kunststoffen (AFK) ist in Abbildung 14 dargestellt. Dabei werden die Fasermaterialien mit hervorragend (++), gut (+), mittelmäßig (+-) sowie ungünstig (-) bewertet.

Vergleich diverser Eigenschaften	GFK	CFK	AFK
Dichte	-	+	++
Zugfestigkeit	+	+	+
E-Modul	-	++	+
Druckfestigkeit	+	+	-
Schlagzähigkeit	+	-	+
Dämpfung	-	-	+
Dynamisches und statisches Verhalten	+	++	+
Dielektrische Eigenschaften	++	-	++
Haftung	++	+	-
Feuchtigkeitsaufnahme	+	+	-
Preis	++	-	+-

Abbildung 14: Diverse Eigenschaften von verschiedenen Fasermaterialien im Vergleich⁶⁶

Für die Herstellung von Faserverbundbauteilen können diverse Fasermaterialien miteinander kombiniert werden, um für die diversen Anwendungsbereiche die positiven Eigenschaften der verschiedenen Fasern auszunutzen. Für den Matrixwerkstoff wird jedoch in der Regel innerhalb eines Bauteils nur eine Kunststoffart verwendet.

Die Hauptaufgabe der Fasern ist, die auf das Bauteil wirkenden Zugkräfte aufzunehmen, wohingegen die Matrix hauptsächlich der Formgebung dient und somit Zusammenhalt innerhalb des Faserverbunds gewährleistet. Auch werden teilweise Druck- und Schubkräfte von der Matrix aufgenommen. Generell wird die Bedeutung der mechanischen Eigenschaften, wie Steifigkeit, Festigkeit und Ermüdung der Fasern zugeschrieben, die physikalisch-chemischen Eigenschaften, wie die chemische Beständigkeit, die Temperaturbeständigkeit und das Korrosionsverhalten sind jedoch in hohem Maße von der Matrix abhängig.⁶⁷

⁶⁵ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 7.

⁶⁶ Vgl. EHRENSTEIN, G. (2006), S. 48.

⁶⁷ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 8.

Aus einer Kombination von Kohle- oder Glasfasern sowie duroplastischer oder thermoplastischer Matrix ergeben sich vier Kombinationsmöglichkeiten, die in Abbildung 15 hinsichtlich Steifigkeit, Festigkeit, Gewicht und Kosten miteinander verglichen werden. Es wird deutlich, dass die Kombination aus duroplastischer Matrix und Kohlestofffasern eine höhere Steifigkeit gegenüber den anderen Variationen aufweist, allerdings auch die höchsten Kosten verursacht.

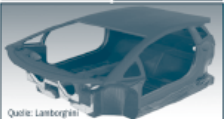


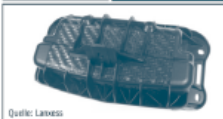
Anwendungsbeispiele	CARBONFASERVERSTÄRKTER KUNSTSTOFF (CFK)		GLASFASERVERSTÄRKTER KUNSTSTOFF (GFK)	
	Carbon-faser / Duro-mer	Carbon-faser / Thermo-plast	Glas-faser / Duro-mer	Glas-faser / Thermo-plast
 <small>Quelle: Lamborghini</small>	 <small>Quelle: ENGEL Austria</small>		 <small>Quelle: Lanxess</small>	
Steifigkeit	↑	↔	→	→
Festigkeit	↔	↔	↔	→
Gewicht	↓	↔	→	→
Kosten	↑	↔	↔	↔
	"Beste mechanische Kennwerte bei höchsten Kosten"	"Besonders schlagfest und mit kurzer Zykluszeit"	"Geringere mech. Eigenschaften aber Kostenvorteil"	"Kurze Zykluszeit und attraktives Kostenprofil"
	↑ Hoch (im Vergleich untereinander)	↓ Gering (im Vergleich untereinander)		

Abbildung 15: Vergleich diverser Eigenschaften von CFK und GFK⁶⁸

Für die Produktion von Faserverbundbauteilen können verschiedenste Verfahren herangezogen und auch miteinander kombiniert werden. Im Folgenden wird eine grobe Übersicht, der die einzelnen Verfahren zugeordnet werden können, aufgezeigt werden. Eine Beschreibung der splineTEX-Technologie ähnlichen Verfahren erfolgt in 4.2.

- **Handlaminieren und Faserspritzen**

Das Handlaminierverfahren zählt zu den einfachsten Verarbeitungsverfahren für faserverstärkte Gießharze. Mit diesem Verfahren lassen sich kleine Stückzahlen sowie Prototypen realisieren. Auch eignet es sich zur Herstellung großdimensionierter Bauteile. Die benötigten Verarbeitungshilfsmittel sowie die Werkzeuge sind einfach und preiswert, jedoch entstehen hohe Lohnkosten. Der Harzauftrag erfolgt durch einen Pinsel oder einen Spatel. Für das Faser-Harz-Spritzen, eine teilmechanisierte Form des Handlaminierens, wird eine Faser-Harz-Spritzpistole verwendet, um sowohl das Harzgemisch als auch geschnittene Faser mittels Druckluft auf eine Form aufzubringen.⁶⁹

⁶⁸ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 7.

⁶⁹ Vgl. EHRENSTEIN, G. (2006), S. 162 ff.

- **Sheet Molding Compound-Verfahren (SMC)**

Für das SMC-Verfahren werden maschinell oder manuell zerschnittene Faserteile, unter Zugabe eines Harzgemisches, in ein Presswerkzeug eingebracht und bei 130°C – 160°C zu einem Bauteil gepresst.⁷⁰

- **Autoklavenverfahren**

Bei einem Autoklaven handelt es sich um einen beheizbaren Druckkessel, durch den eine genaue und reproduzierbare Steuerung der Temperatur,- Druck- sowie Vakuumzyklen für die Herstellung von Verbundwerkstoffen gegeben sind. Dieses Verfahren erfordert hohe Grundinvestitionen, wobei aufgrund des hohen Kosten- und Produktionsaufwandes nur verhältnismäßig geringe Jahresstückzahlen hergestellt werden. Daher wird die Autoklaventechnik vorwiegend in der Luft- und Raumfahrt eingesetzt, da in diesem Bereich erhöhte Produktionskosten vom Markt akzeptiert werden.⁷¹

- **Pultrusion**

Bei der Pultrusion handelt es sich um die Herstellung von endlosen Faserverbundbauteilen mittels Strangziehens. Da es sich bei einigen Sonderformen der Pultrusion um artverwandte Verfahren zur splineTEX-Technologie handelt, wird auf diese gesondert in Kapitel 4.2.3 eingegangen.

- **Nasspressen**

Bei diesem Verfahren werden die Verstärkungslagen in ein Werkzeug eingelegt, das vor dem Pressen mit Harz aufgefüllt wird. Dabei wird entweder ohne äußere Wärmezufuhr gepresst, dem sogenannten Kaltpressen (bei 30°C bis 60°C), oder mit Wärmezugabe, dem sogenannten Warmpressen (bei 80°C bis 150°C). Der Pressdruck beim Nasspressen liegt in etwa zwischen 5 und 20 bar.⁷²

- **Wickelfverfahren**

Mit dem Wickelfverfahren lassen sich Hohlkörper mit rotationssymmetrischer Geometrie herstellen. Dazu zählen beispielsweise Tanks, Druckbehälter und einfache Strukturen. Bei diesem Verfahren werden die Fasern auf einen Kern gewickelt und anschließend in Harz getränkt. Dieses Formgebeverfahren ist weitestgehend automatisiert.⁷³

⁷⁰ Vgl. EHRENSTEIN, G. (2006), S. 170 f.

⁷¹ Vgl. EHRENSTEIN, G. (2006), S. 165 f.

⁷² Vgl. EHRENSTEIN, G. (2006), S. 167 f.

⁷³ Vgl. EHRENSTEIN, G. (2006), S. 176 f.

- **Harzinjektionsverfahren**

Im Laufe der letzten Jahre hat sich eine große Anzahl an Varianten der Harzinjektionsverfahren entwickelt. In Tabelle 2 ist ein Überblick über die verschiedenen Verfahren dargestellt. Auch bei der splineTEX-Technologie handelt es sich um eine Modifikation der Harzinjektionsverfahren, da die Matrix ebenfalls während des Herstellungsprozesses in das Bauteil injiziert wird. Allerdings unterscheidet sich die splineTEX-Technologie, durch die Verwendung eines innovativen In- und Outlinersystems, von den anderen Verfahren. In Kapitel 4 wird ausführlich auf die splineTEX-Technologie eingegangen.

Tabelle 2: Verfahrensvarianten der Harzinjektionstechnik⁷⁴

	Vakuum-injektionsverfahren (VI)	Resin Transfer Molding (RTM, VARTM)	Thermal Expansion RTM (TERTM)	Advanced RTM (ARTM)	Kernausschmelzverfahren	Schlauchblas-RTM	splineTEX - 2013	splineTEX - SCT (Ausblick)
Kurzbeschreibung	Einfachste Verfahren um endlosfaserverstärkte Bauteile herzustellen. Vorwiegend werden einseitige Werkzeuge mit Vakuumfolie verwendet.	Einlegen des Preforms in das Werkzeug; Matrixmaterial wird durch Überdruck in die Kavität injiziert; Kombination von Vakuum und Druckinjektion ist möglich → VARTM-Verfahren	angelehnt an RTM-Verfahren, allerdings mit PUR oder PI Schaumkern; Fertigungsprozess beginnt mit dem Umwickeln/Umflechten des Schaumkerns mit Fasern und dem Einlegen dieses Paketes in das Werkzeug; durch kontrollierte Wärmezufuhr erfolgt eine gesteuerte Expansion des Schaumkerns	Injektionsvorgang ähnelt dem RTM-Verfahren. Allerdings wird das Werkzeug zur Reduzierung der Zykluszeit während der Injektion nicht vollständig geschlossen	Verwendung eines niedrig schmelzenden Kerns (z.B. 80°C); Aufbringen der textilen Verstärkungsstrukturen und einlegen des Preformpaketes in das Formwerkzeug; Die Injektion erfolgt analog zum RTM-Verfahren	angelehnt an RTM-Verfahren; Verwendung einer Preform, bei der die textile Verstärkungsstruktur um einen flexiblen Blastschlauch gelegt wird; Preform wird in das Werkzeug eingelegt und der Blastschlauch mit Druck beaufschlagt; Einbringen der Matrix mit einem Injektionsdruck < Blastschlauchdruck	Preform besteht aus Inliner, textile Verstärkungsstrukturen (Geflechschlauche) und Outliner; Verwendung des Vakuuminjektionsverfahrens in partiellen oder geschlossenen einfachen Formwerkzeugen	Preform besteht aus Inliner, textile Verstärkungsstrukturen (Geflechschlauche) und Outliner; Verwendung des Vakuuminjektionsverfahrens in partiellen oder geschlossenen einfachen Formwerkzeugen
Faservolumengehalt	40%-50%	40%-60%	max. 65%	niedrig 40%	40%-60%	bis 60%	40%-50%	50-60%
Oberfläche	sehr gut	gut-sehr gut	gut	mittel	gut-sehr gut	gut	sehr gut	sehr gut
Luft einschüsse, Delamination	luftblasenfrei	möglich	möglich, aber gering	möglich, da hohe Fließgeschwindigkeiten, schnelle Tränkung	Luft einschüsse beim Aufeinandertreffen der Fließfronten möglich	in Radien problematisch	luftblasenfrei	
mögliche Bauteilgeometrien	in erster Linie flächige Bauteile	in erster Linie flächige Bauteile	in erster Linie flächige Bauteile	in erster Linie flächige Bauteile	komplexe Hohlgeometrien (Heckspoiler Porsche 911 - Sondermodell)	komplexe Hohlgeometrien	längliche 3D-geformte Hohlgeometrien mit mittleren Komplexität	längliche Bauteile; Hohlgeometrien mit mittleren Komplexität
komplexe Geometrien	gut	gut-sehr gut	gut	eingeschränkt wegen Schliessvorgang	gut	gut	gut; Querschnittsänderungen nur eingeschränkt möglich	gut; Querschnittsänderungen nur eingeschränkt möglich
Bauteilgröße	begrenzt, Fließwege max. 1 m - 2 m	5 m ²	anlagentechnische Beschränkungen	eingeschränkt	aufgrund der Fertigungskomplexität begrenzt		Bauteile mit Längen bis 5 m	Bauteile mit Längen bis 5 m
Inserts	sehr gut	sehr gut	sehr gut	eingeschränkt	sehr gut	sehr gut	Nein; bzw. nur schwierig aufgrund des Outliners	Nein; bzw. nur schwierig aufgrund des Outliners
typische Seriengrößen pro Jahr	2.000	12.000-50.000	50.000	100.000	50.000	10.000	<1.000	20.000
Zykluszeiten	5-60 min.	5-25 min.	6 min. mit speziellen EP-Harzen	<5 min.	5-45 min.	20-60 min.	24 h	<20 min.

⁷⁴ Vgl. SCHENNACH, O. (2013, b), S.9.

In Abbildung 16 ist ein Überblick über die genannten Herstellverfahren gegeben. Die Einteilung erfolgt gemäß der erreichbaren Festigkeit bzw. des erreichbaren E-Moduls über dem realisierbaren Faservolumengehalt.

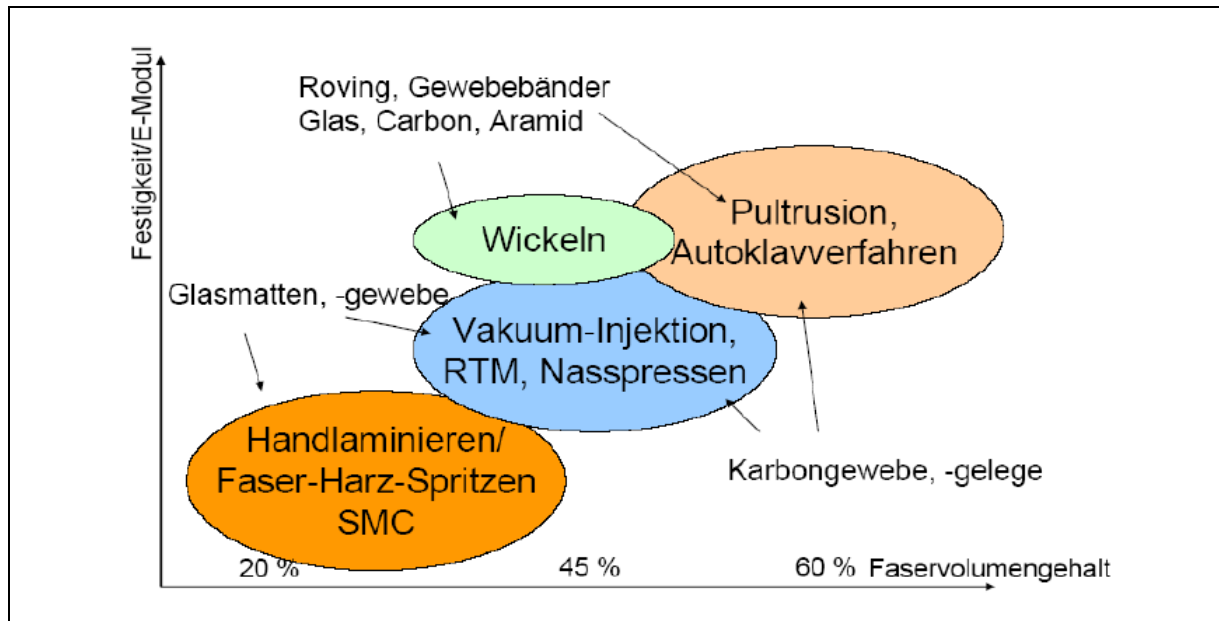


Abbildung 16: Herstellverfahren im Überblick⁷⁵

Daraus geht hervor, dass die höchste Festigkeit und der höchste Faservolumengehalt mittels Pultrusionsverfahren sowie Autoklavenverfahren erreicht werden kann.

⁷⁵ Vgl. AVK (2010), S. 6.

3 Generelle und zukünftige Trends im Leichtbau

Der Einsatz von Leichtbaumaterialien war in den vergangenen Jahrzehnten meist ein wichtiger Faktor in der Entwicklung und Herstellung von neuen industriellen Produkten. In vielen industriellen Bereichen werden Leichtbauteile verwendet und das Produktdesign wird speziell an die Leichtbaukonstruktionsvorgaben angepasst. Besonders im Luftfahrtbereich hat das Konzept des Leichtbaus, von Beginn der ersten Flugversuche an, eine lange Tradition. Aber auch in Bereichen, in denen große, rotierende Bauteile (wie z.B. die Rotorblätter einer Windkraftanlage) zum Einsatz kommen, hat die Verwendung von Leichtbaumaterialien für deren Entwicklung eine bedeutende Rolle gespielt und findet dort nach wie vor große Verwendung.

Um die Fahrdynamik ständig zu verbessern und weiterzuentwickeln, hat der Einsatz von Leichtbaumaterialien auch im Automobilbereich stetig an Bedeutung gewonnen. So werden heute etwa 90% aller verarbeiteten Leichtbaumaterialien, die in den drei großen Bereichen Automobilbau, Luftfahrt und Windenergie verwendet werden, in der Automobilindustrie verbaut, wie die Studie „Lightweight, heavy impact“, durchgeführt im Jahr 2012 von McKinsey & Company, aufzeigt.⁷⁶

Für die Umsetzung der Leichtbauweise kommt eine Reihe von Materialien in Betracht. In Kapitel 2.2.2 wurden speziell die Faserverbundwerkstoffe vorgestellt, da es sich bei der splineTEX-Technologie ebenfalls um einen Faserverbundwerkstoff handelt. Zu den weiteren wesentlichen Leichtbaumaterialien zählen Aluminium, hochfester Stahl (HSS), Kunststoffe und Magnesium.

Laut der Studie wird der Einsatz von Leichtbaumaterialien in den nächsten Jahrzehnten deutlich ansteigen und damit die Verwendung von herkömmlichem Stahl reduzieren. Abbildung 17 zeigt die durchschnittliche, jährliche Wachstumsrate des CFK-Einsatzes von 17% bis zum Jahr 2030 auf, dargestellt mit der englischen Abkürzung CAGR (Compound Annual Growth Rate). Auch für Aluminium wird ein stetiger Anstieg bis zum Jahr 2030 von 6% jährlich prognostiziert. Die Verwendung von hochfestem Stahl wird zunächst bis zum Jahr 2020 rapide jährlich um 13% steigen, darüber hinaus wird jedoch eine Verdrängung durch andere Materialien, wie CFK und Aluminium, erwartet, so dass von 2020 bis 2030 eine Stagnation der Verwendung von hochfestem Stahl angenommen wird.

⁷⁶ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 4.

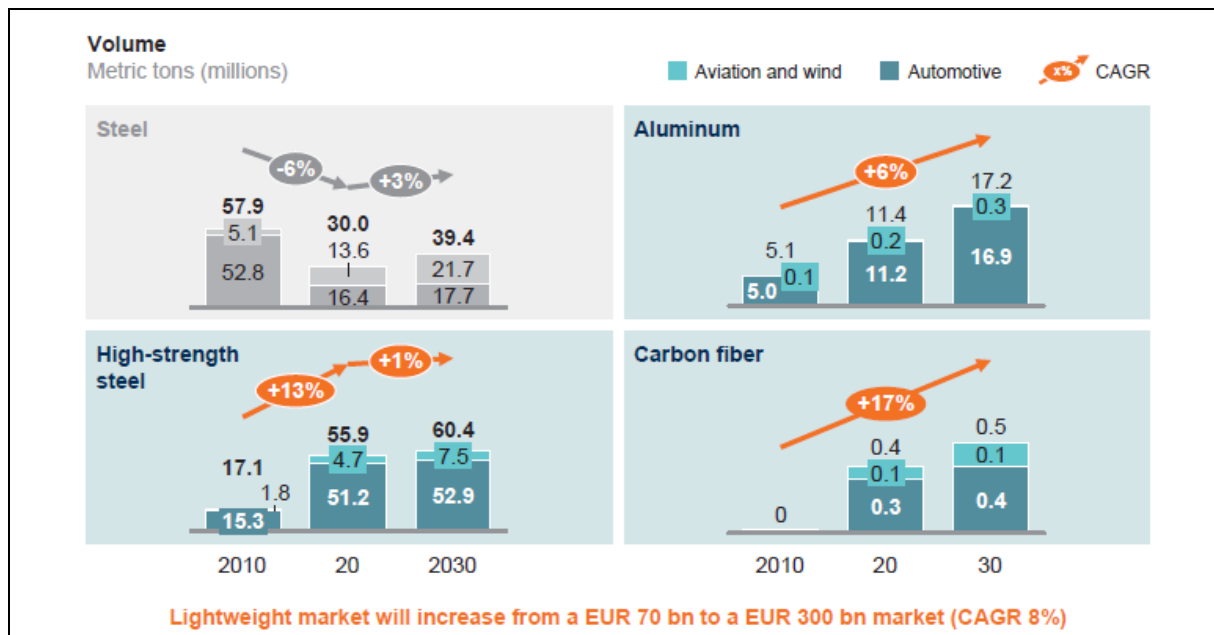


Abbildung 17: Entwicklung der Leichtbaumaterialien bis 2030⁷⁷

Besonders der steigende Einsatz von CFK lässt sich auf die stetige Weiterentwicklung der Herstellprozesse und Materialien zurückführen. Aber auch Aluminium und hochfester Stahl werden weiterhin einen wichtigen Anteil am Leichtbaumarkt haben. Es wird prognostiziert, dass der gesamte Leichtbaumarkt mit einer jährlichen Wachstumsrate von 8% bis zum Jahr 2030 ansteigt, von einem derzeitigen Volumen von 70 Milliarden Euro auf ein Niveau von 300 Milliarden Euro. Die angenommene Verlagerung der Anteile der Leichtbaumaterialien in den drei dominierenden Bereichen bis zum Jahr 2030 ist in Abbildung 18 dargestellt. Der Luftfahrtbereich setzt sich mit einem aktuellen Leichtbauanteil von 78% deutlich von den anderen Bereichen ab. Es wird prognostiziert, dass sich der Anteil bis zum Jahr 2030 auf bis zu 85% erhöhen wird. Speziell der Einsatz von CFK im Luftfahrtbereich wird von 9% auf 16% steigen. Aber auch die Anteile an hochfestem Stahl werden von derzeit 11% um weitere 5 Prozentpunkte auf insgesamt 16% ansteigen, wohingegen für den Einsatz an Aluminium ein leichter Rückgang von 49% auf 42% prognostiziert wird. Insgesamt verdeutlicht Abbildung 18, dass der Einsatz von hochfestem Stahl, Aluminium und Faserverbundwerkstoffen in der Luftfahrtbranche bereits über 70% des kompletten Materialeinsatzes ausmacht. Dies ist deutlich mehr als in den beiden anderen dargestellten Bereichen, Automobil und Windkraft.

⁷⁷ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 21.

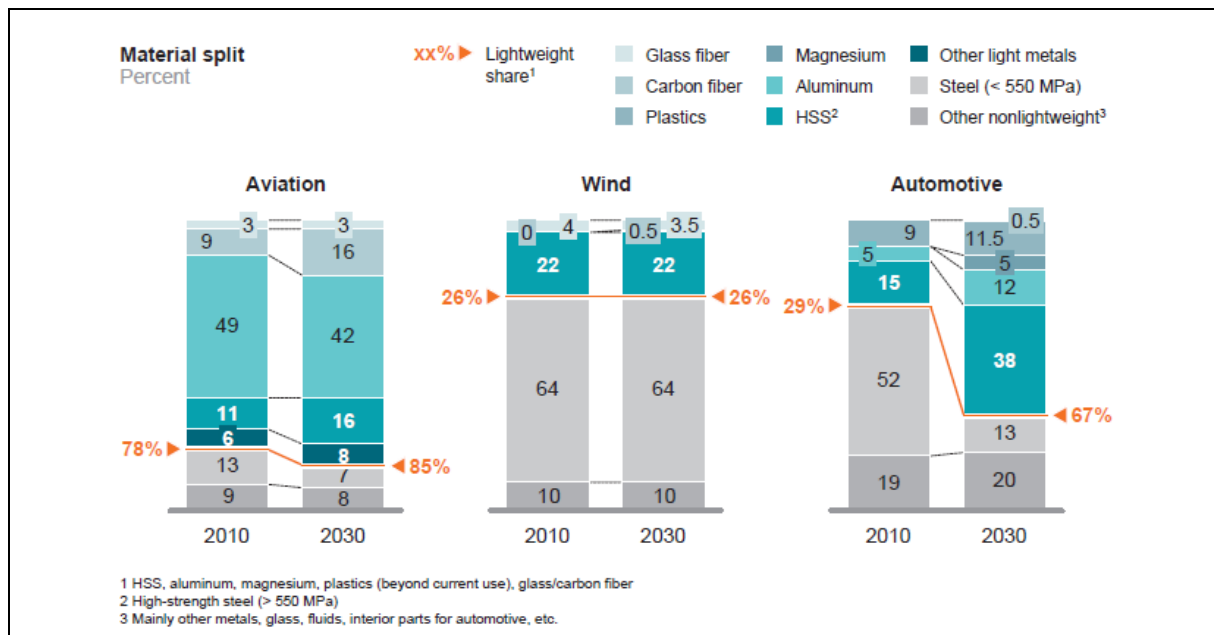


Abbildung 18: Leichtbaumaterialanteil⁷⁸

In der Windindustrie wird die Leichtbauweise für den Bau der großen, rotierenden Windradflügel, die die Windenergie in Rotationsenergie umwandeln, eingesetzt. Da die Flügel im Betrieb aufgrund ihrer Größe, ihres Gewichts und der hohen Windgeschwindigkeiten enormen Belastungen ausgesetzt sind, ist der Einsatz von sehr leichten Materialien unerlässlich, um die Bauteilbeanspruchungen zu minimieren. Der Großteil der Windturbinenhersteller setzt dabei vorwiegend Glasfaserverbund als Strukturmaterial für die Rotorblätter ein.⁷⁹

Aus Abbildung 18 geht keine wesentliche Steigung des Anteils an Leichtbaumaterialien im Bereich Windenergie hervor, da hier Gewichtseinsparung nur im Bereich der Rotorblätter sinnvoll ist und dort bereits größtenteils alle Möglichkeiten zur Gewichtsoptimierung ausgeschöpft sind. Der große Anteil des Einsatzes von anderen, nicht leichtbauspezifischen Materialien, ergibt sich aus dem Materialanteil für den Mast, für den größtenteils Stahl zum Einsatz kommt.

Im Automobilbereich hat gerade in den letzten Jahren die Verringerung des Fahrzeuggewichts immer mehr an Bedeutung gewonnen. Diese Entwicklungen resultieren aus der direkten Auswirkung des Gewichts auf die Fahrdynamik, die Fahragilität sowie auf den Kraftstoffverbrauch. Jedoch hält sich die Bereitschaft der Endverbraucher, kostenintensive Leichtbaulösungen zu akzeptieren, in Grenzen, was einen breiten Einsatz an Leichtbaumaterialien im Automobilbereich seither verhindert hat. Aus Abbildung 18 geht hervor, dass 2010 der Anteil an Leichtbaumaterialien bei 29% lag, größtenteils bestehend aus hochfestem Stahl mit 15% Anteil. Allerdings haben die Einführung von Zielen zur Senkung des CO₂-Ausstoßes bei Fahrzeugen und die damit verbundenen Strafzahlungen bei nicht Einhaltung dazu geführt, dass das Thema Gewichtsreduktion im Automobilbau in

⁷⁸ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 6.

⁷⁹ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 7.

den letzten 10 Jahren wieder stärker in den Vordergrund gerückt ist. Aus diesem Grund wird ein deutliches Wachstum des Anteils an Leichtbaumaterialien in diesem Bereich in den nächsten 20 Jahren erwartet, von derzeit 29% auf 67%. Darunter fällt auch der Einsatz von CFK mit einem Anteil von 0,5% am Gesamtanteil.⁸⁰

3.1 Leichtbauentwicklungen im Automobilbereich

Wie bereits erwähnt, kommen verschiedene Materialien für eine Leichtbauweise zum Einsatz. In der Automobilindustrie werden die einzelnen Materialien nach ihren charakteristischen Merkmalen und nach den Anforderungen an das jeweilige Bauteil ausgewählt. Die derzeitige Problematik für den Einsatz von hochbelastbaren, leichten Materialien in der Automobilindustrie liegt in den hohen Bauteilkosten. Das Gewichtseinsparpotential ist hierbei indirekt proportional zu den damit verbundenen Kosten. Beispielsweise bietet aktuell hochfester Stahl ein Gewichtseinsparpotential von 20% gegenüber herkömmlichem Stahl, die Kosten pro Bauteil erhöhen sich jedoch um 15%, wie Abbildung 19 veranschaulicht. Der Kostenvergleich bezieht sich hierbei auf die Annahme einer Serienfertigung von 60.000 Kotflügeln pro Jahr.⁸¹

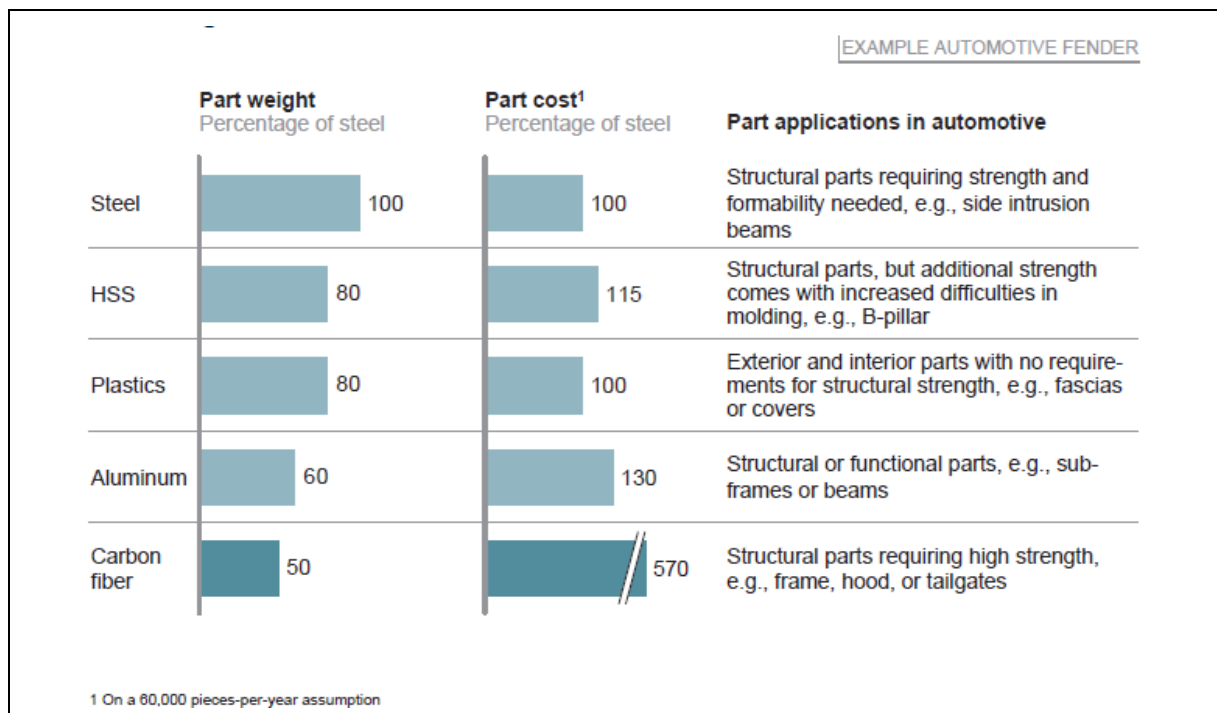


Abbildung 19: Bauteilgewicht im Vergleich mit Bauteilkosten gegenüber Stahl⁸²

Des Weiteren geht aus Abbildung 19 hervor, dass Aluminium ein Gewichtseinsparpotential von 40% gegenüber Stahl bietet, jedoch nach dem derzeitigen Stand um 30% teurer ist.

⁸⁰ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 7.

⁸¹ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 8.

⁸² Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 8.

Der Anteil an Aluminium im Automobilbereich hat sich von 1990 bis 2012 pro Fahrzeug von 50 kg auf 140 kg nahezu verdreifacht. Bis 2020 wird eine weitere Steigerung bis auf 180 kg prognostiziert.⁸³

Einen noch höheren Gewichtsvorteil gegenüber Stahl, nämlich eine Halbierung des Gewichts, ist nur durch den Einsatz von CFK zu erreichen, allerdings wird dadurch derzeit fast das Sechsfache an Kosten verursacht.

3.1.1 Verwendung von kohlefaserverstärkten Kunststoffen (CFK)

Aktuell ist CFK für den Einsatz in verschiedenen Bereichen in der Automobilindustrie ein hoch umworbenes Thema. Momentan bestehen jedoch zwei wesentliche Probleme, die einen breiten Einsatz von CFK im Automobilbereich erschweren:

1) Hohe Kosten für das Ausgangsmaterial:

Die auf öl- bzw. gasbasierenden Ausgangsrohstoffe zur Herstellung von Kohlefasern sind aufgrund kontinuierlich steigender Weltmarktpreise mit erheblichen Rohstoffkosten verbunden. Allerdings bestehen jedoch erste Ansätze zur Herstellung von Kohlefasern aus Polyacrylnitril (PAN), basierend auf synthetischen Polymeren sowie aus holzbasierendem Lignin, um die Rohstoffkosten von den Ölpreisentwicklungen zu entkoppeln. Ein Kosteneinsparpotenzial von 30% - 50% wären die Folgen dieser Entwicklungen.⁸⁴

2) Hohe Fertigungskosten:

Da für die Verarbeitung von CFK keine durchgehenden Prozessketten für eine Serienfertigung bestehen, ist die Herstellung von CFK-Bauteilen mit hohen Fertigungskosten verbunden. Um diesem Problem entgegenzuwirken werden bereits Versuche durchgeführt, bei denen durch die Verwendung von schneller aushärtenden Harzen die Zykluszeiten verringert werden. Auch durch die Senkung der Kosten für Forschung und Entwicklung, die immer mehr auf bestehende Werte und Forschungsergebnisse zurückgreifen können, werden die Gesamtkosten für neue Bauteile gesenkt.⁸⁵

Eine Kostenprognose für die möglichen Rohstoff- und Prozesskosten in Euro/kg, bezogen auf eine Karosseriekomponente im Automobilbereich, ist in Abbildung 20 dargestellt. Dabei wird zwischen zwei verschiedenen Szenarien unterschieden, zum einen ein moderates Szenario, bei dem von einer Taktzeitreduktion von 5 auf 3 Minuten bis zum Jahr 2030 für die Herstellung derartiger Bauteile ausgegangen wird. Außerdem wird davon ausgegangen, dass zukünftig die Kohlefasern aus synthetischen Polymeren hergestellt werden. Für das aggressive Szenario wird eine Taktzeitverkürzung von 5 auf 1-2 Minuten pro Bauteil bis zum

⁸³ Vgl. INGENIEUR-WERKSTOFFE (2012), S. 5.

⁸⁴ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 9.

⁸⁵ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 9.

Jahr 2030 angenommen. Es wird zudem davon ausgegangen, dass zukünftig Kohlefasern aus holzbasierendem Lignin hergestellt werden.⁸⁶

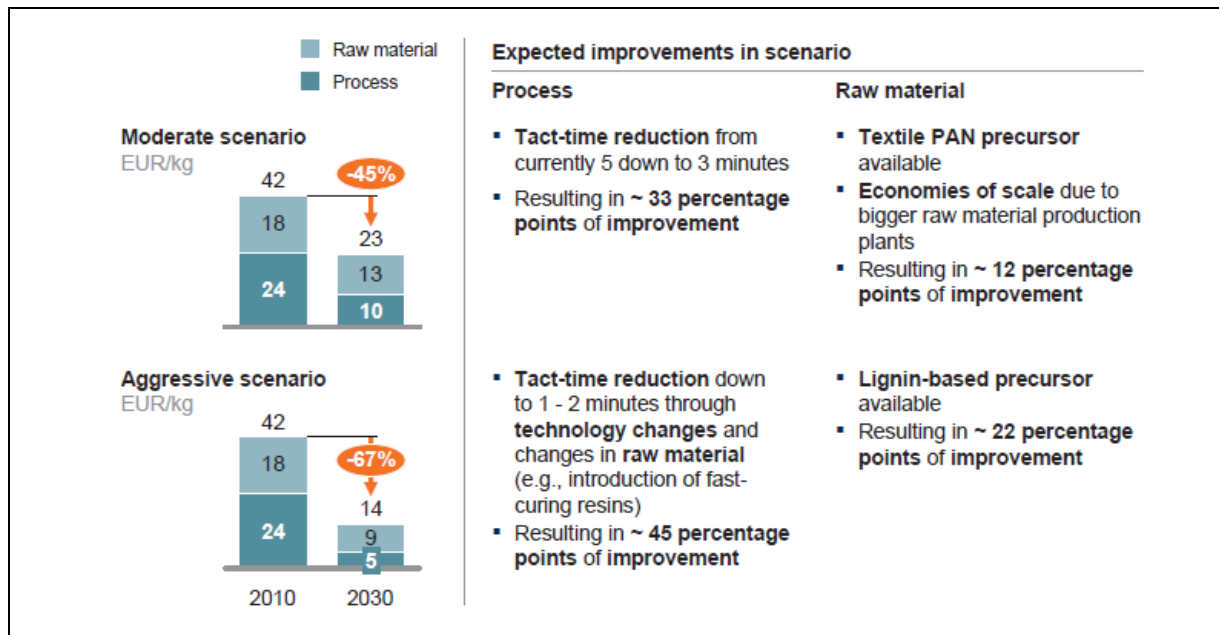


Abbildung 20: Kostenszenarien für CFK-Bauteile im Automobilbereich 2010 - 2030⁸⁷

Für die Annahme des moderaten Szenarios wird eine Kostensenkung des Fertigungsprozesses von 45% prognostiziert, davon 33% durch Reduzierung der Taktzeiten sowie 12% durch Optimierung des Herstellverfahrens der Kohlefasern. Dies bedeutet eine Kostenreduktion von 42 Euro/kg auf 23 Euro/kg für ein Karosseriebauteil bis zum Jahr 2030. Bei der Annahme des aggressiven Szenarios kann sogar eine Kosteneinsparung von 67% erreicht werden, die sich zu 45% auf eine Taktzeitreduzierung und zu 22% auf die Verwendung von Lignin-basierten Kohlefasern aufteilt. Dadurch kann sogar eine Kostensenkung von 42 Euro/kg auf 14 Euro/kg erreicht werden.

Aufgrund dieser Annahmen und Prognosen bezüglich der Kostensenkung für CFK-Bauteile ist eine Annäherung an die Fertigungskosten von Aluminiumbauteilen bis zum Jahr 2030 durchaus möglich. Es wird prognostiziert, dass das Kostendelta zwischen Aluminium und CFK von derzeit 77% auf 26% sinken wird, wie Abbildung 21 verdeutlicht. Die Kosten der beiden Materialien sind hierbei auf die Kosten von Stahl bezogen (100%). Es wird jedoch deutlich, dass selbst bei einem aggressiven Szenario der Preis für ein CFK-Bauteil doppelt so hoch ist wie ein vergleichbares Bauteil aus Stahl. Die leicht steigenden Kosten des Aluminiums im Jahr 2030 gegenüber den Kosten im Jahr 2010 sind auf steigende Energiekosten zurückzuführen.

⁸⁶ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 9.

⁸⁷ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 9.

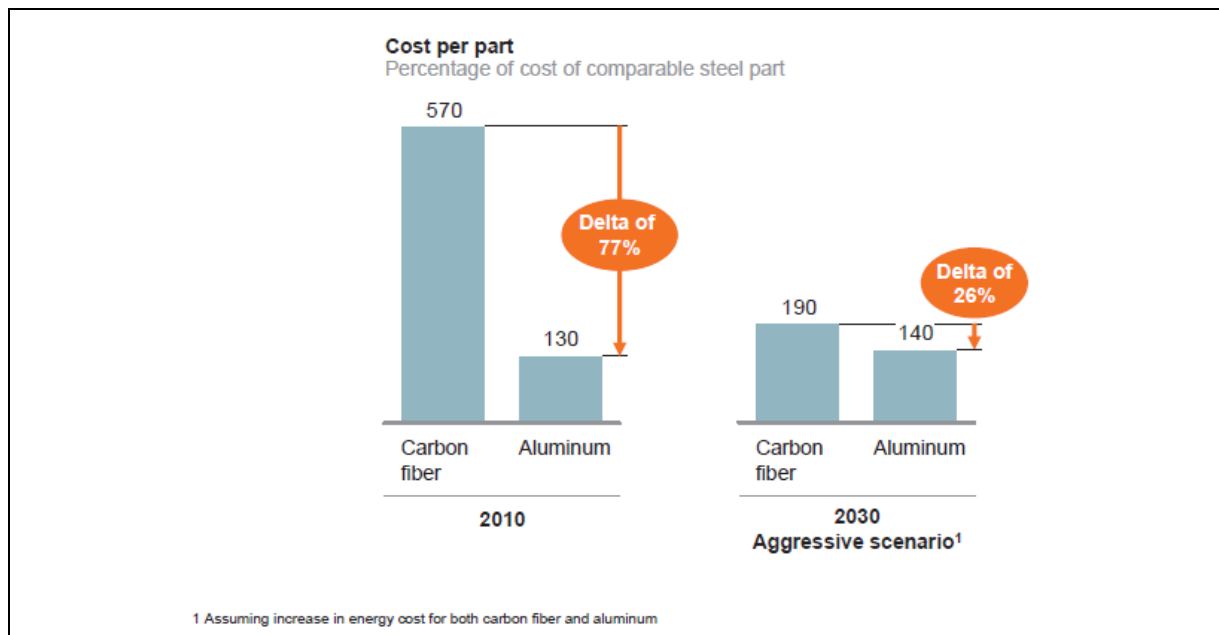


Abbildung 21: Kostenlücke zwischen CFK- und Aluminiumbauteilen 2010 - 2030⁸⁸

Zu den aktuellen Problemen, die aus hohen Material- und Fertigungskosten resultieren, kommen drei weitere wesentliche Herausforderungen für den CFK-Einsatz in hohen Stückzahlen auf den Automobilbereich zu:

1) Reparatur und Instandhaltung:

Die Instandhaltung von CFK-Bauteilen gestaltet sich nicht einfach, da nach einer äußeren Gewalteinwirkung Schäden am Bauteil durch Sichtprüfung meistens nicht wahrgenommen werden können. Potentielle Beschädigungen können nur mittels Ultraschall oder Röntgenstrahlen festgestellt werden. Dies bedeutet hohe Anschaffungskosten für derartige Geräte für Autohäuser und Werkstätten. Auch das breite Fachwissen für die Reparatur von CFK-Bauteilen muss größtenteils noch erworben werden.⁸⁹

2) Recycling und Nachhaltigkeit:

Da die europäischen Gesetzgebungen eine Wiederverwertbarkeit für Fahrzeuge von 85% vorschreibt, ist hier auch Handlungsbedarf für CFK-Bauteile gegeben. Derzeit ist es möglich, Abfälle von CFK-Formbauteilen, die aktuell einen Anteil von 30% des CFK-Verbrauchs ausmachen, zu zerkleinern und für Anwendungen mit niedrigeren Beanspruchungsanforderungen wieder zu verwenden.⁹⁰

⁸⁸ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S.10.

⁸⁹ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S.17.

⁹⁰ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 17f.

3) Crash Simulationen:

Ergebnisse und Erfahrungswerte von Crash Simulationen bezüglich CFK-Bauteile im Automobilbereich liegen derzeit nicht vor. Allerdings kann dafür auf das bestehende Fachwissen der Luftfahrtindustrie zurückgegriffen werden. So gibt es bereits Partnerschaften für einen derartigen Wissenstransfer zwischen Boeing und Lamborghini.⁹¹

Generell gibt es für den CFK-Einsatz im Automobilbereich noch einige Hürden zu bewältigen. Ein Wissensaustausch zwischen den großen Bereichen der CFK-Anwendungen, Automobilindustrie, Luftfahrtindustrie und Windindustrie, ist hierbei unerlässlich.

3.1.2 Reduzierung der CO₂ - Emissionen in der Automobilbranche

Basierend auf europäischen Gesetzen sind die Automobilhersteller dazu angehalten, den CO₂-Verbrauch für neue Fahrzeuge deutlich zu reduzieren. Bis zum Jahr 2030 soll eine Senkung der durchschnittlichen CO₂-Emissionen der gesamten Fahrzeugflotte eines Herstellers schrittweise von derzeit durchschnittlich 140g CO₂ pro gefahrenem Kilometer auf 95g/km bis zum Jahr 2020 und auf 75g/km CO₂ bis zum Jahr 2030 erfolgen.⁹²

In Abbildung 22 sind die möglichen Strafzahlungen für das Verfehlen der gesetzlichen Emissionsvorgaben dargestellt. Hierbei wird von einer 0 Euro Strafe bei einem derzeitigen durchschnittlichen Verbrauch von 140g/km ausgegangen. Werden bis zum Jahr 2020 die durchschnittlichen Emissionen nicht auf 95g/km gesenkt, kommen auf die Automobilhersteller Strafen bis zu 4.000 Euro pro Fahrzeug zu.

⁹¹ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 18.

⁹² Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 10.

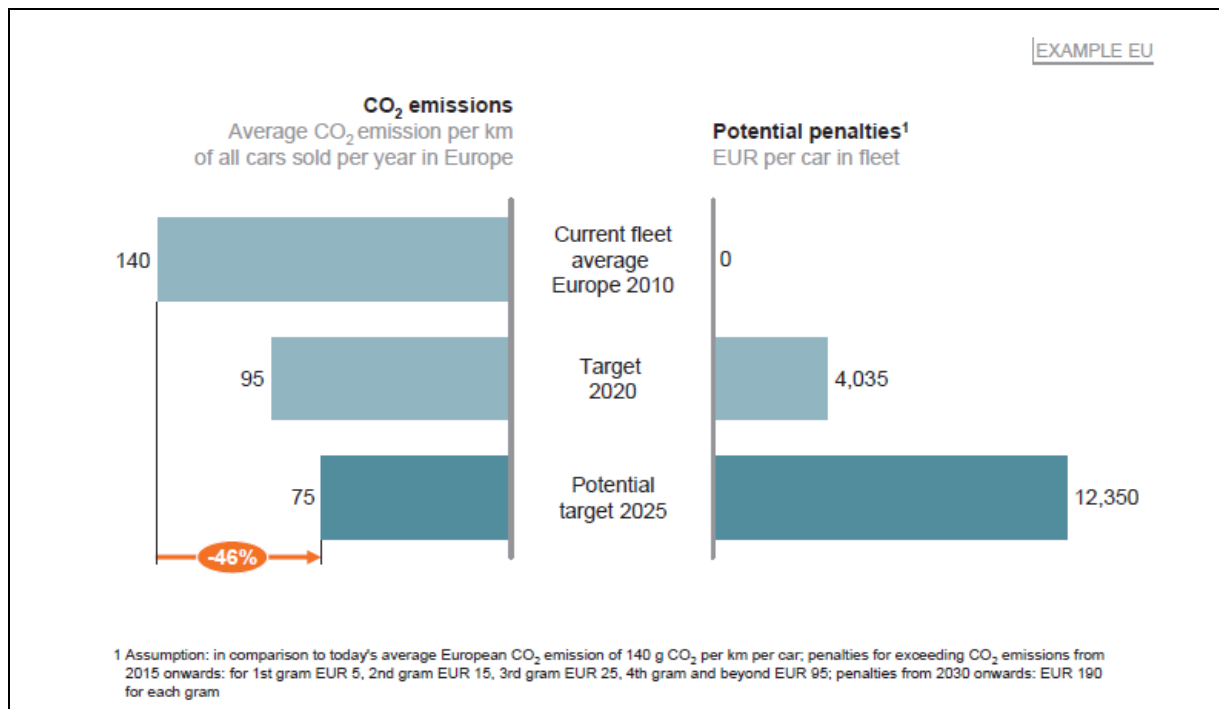


Abbildung 22: Gesetzliche Vorgaben und Strafzahlungen CO₂-Emissionen⁹³

Laut Gesetz können ab dem Jahr 2025 bei Überschreitung der CO₂-Emissionsgrenze von 75g/km sogar bis zu 12.000 Euro an Strafzahlungen auf die Automobilhersteller zukommen.⁹⁴

Die Werte für die berechneten Strafzahlungen in Abbildung 22 basieren auf folgender Staffelung (siehe Abbildung 23).

⁹³ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 11.

⁹⁴ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 11.

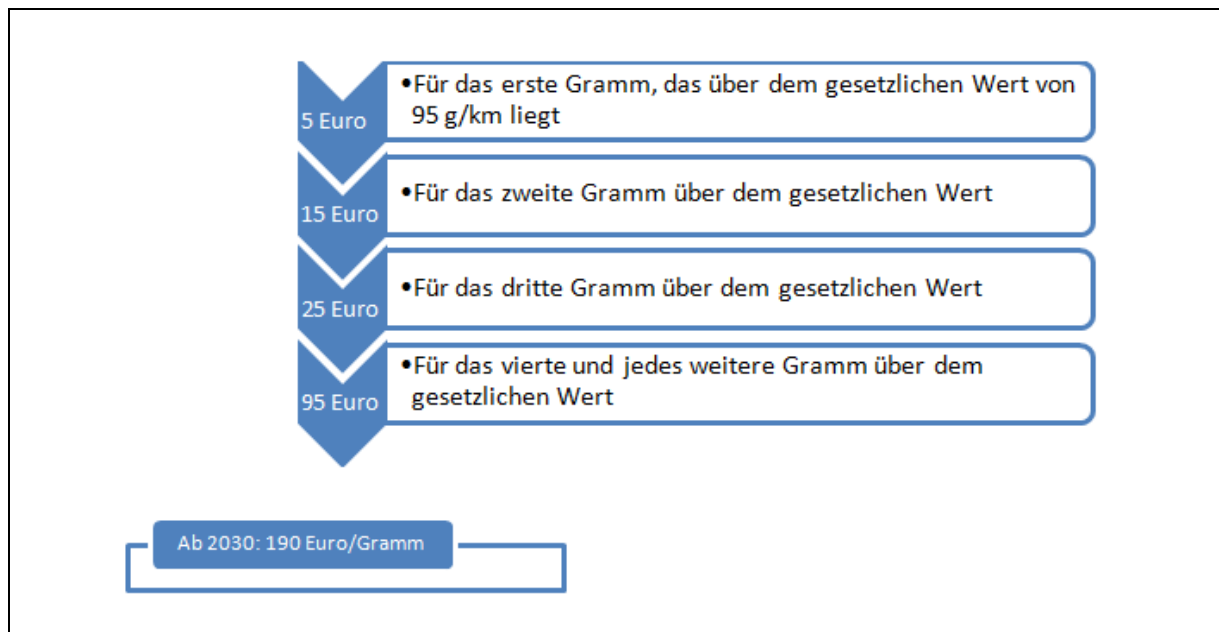


Abbildung 23: Staffelung der Strafzahlungen bei CO₂-Emissionsüberschreitung⁹⁵

Ab 2030 drohen sogar bis zu 190 Euro an Strafzahlungen pro Gramm CO₂-Emissionsüberschreitung.

Für die Erreichung der CO₂-Emissionssenkungen und somit die Vermeidung von hohen Strafzahlungen, empfiehlt McKinsey&Company den Automobilherstellern die Einteilung der Leichtbaumaterialzusammensetzungen in drei verschiedene Lightweight Packages.

3.1.3 Materialmix - Einteilung in verschiedene Lightweight Packages

Für die Erreichung der gesetzlichen Vorgaben bezüglich der Senkung der CO₂-Emissionen, zeigt McKinsey&Company verschiedene Möglichkeiten zur Gewichtseinsparung im Automobilbereich auf. Die drei Wesentlichen sind in Abbildung 24 dargestellt.

⁹⁵ In Anlehnung an HEUSS, R. et al. (2012), S. 11.

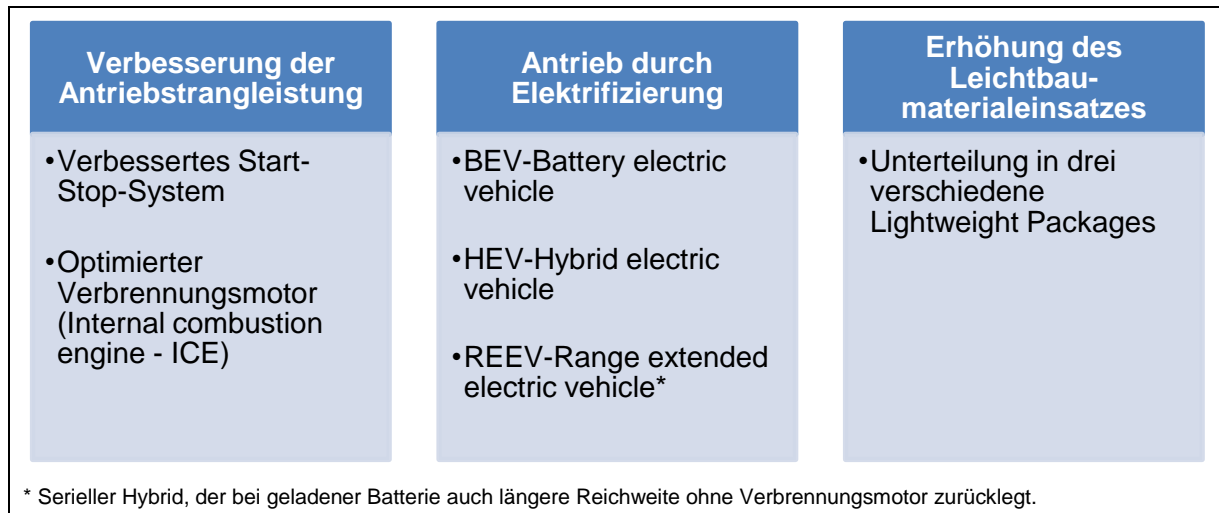


Abbildung 24: Verschiedene Möglichkeiten zur CO₂-Emissionssenkung⁹⁶

Zudem empfiehlt McKinsey&Company den Automobilherstellern die Einteilung der Leichtbaumaterialien in drei verschiedene Materialzusammensetzungen, sogenannte Lightweight Packages.

Diese werden in ein Conventional Lightweight Package, also eine konventionelle Materialzusammensetzung, in ein Moderate Lightweight Package, eine mäßige Leichtbaumaterialverwendung, sowie ein Extreme Lightweight Package, welches einen extremen Einsatz an leichten Materialien vorsieht, aufgeteilt. Abbildung 25 gibt einen Überblick über die einzelnen Packages.

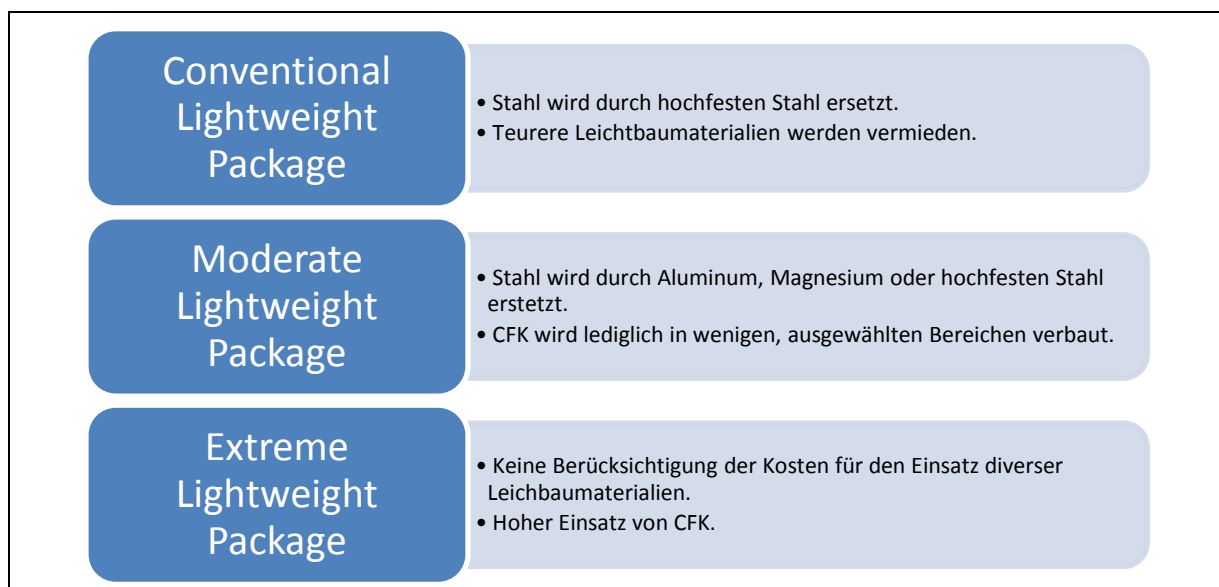


Abbildung 25: Definition der verschiedenen Lightweight Packages⁹⁷

⁹⁶ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 12.

⁹⁷ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 14f.

Die konkreten Vorschläge für die Materialzusammensetzung der einzelnen Packages sind in Abbildung 26 dargestellt.

Das Gewichtseinsparpotenzial für einen PKW der Mittelklasse beträgt durch das Conventional Lightweight Package ca. 18% (250 kg), wobei pro eingespartes Kilogramm ein finanzieller Mehraufwand von 3 Euro/kg für das Jahr 2030 angenommen wird. Durch das Moderate Lightweight Package können bereits bis zu 30% (420 kg) des Fahrzeuggewichts eines Mittelklasse PKW reduziert werden, wobei daraus eine prognostizierte Kostensteigerung von 4 Euro/kg resultiert. Für das Extreme Lightweight Package, durch das bis zu 35% (490 kg) Gewicht eingespart werden kann, werden zusätzliche Kosten von 8-10 Euro/kg erwartet.

Aus Abbildung 26 wird deutlich, dass für das Conventional Lightweight Package kein Einsatz von CFK vorgesehen ist. Für das Moderate Lightweight Package wird lediglich eine Verwendung von CFK von 1% vorgeschlagen. Für das Extreme Lightweight Package hingegen liegt der CFK-Anteil bei 36%, deutlich über den Anteilen der anderen Materialien.

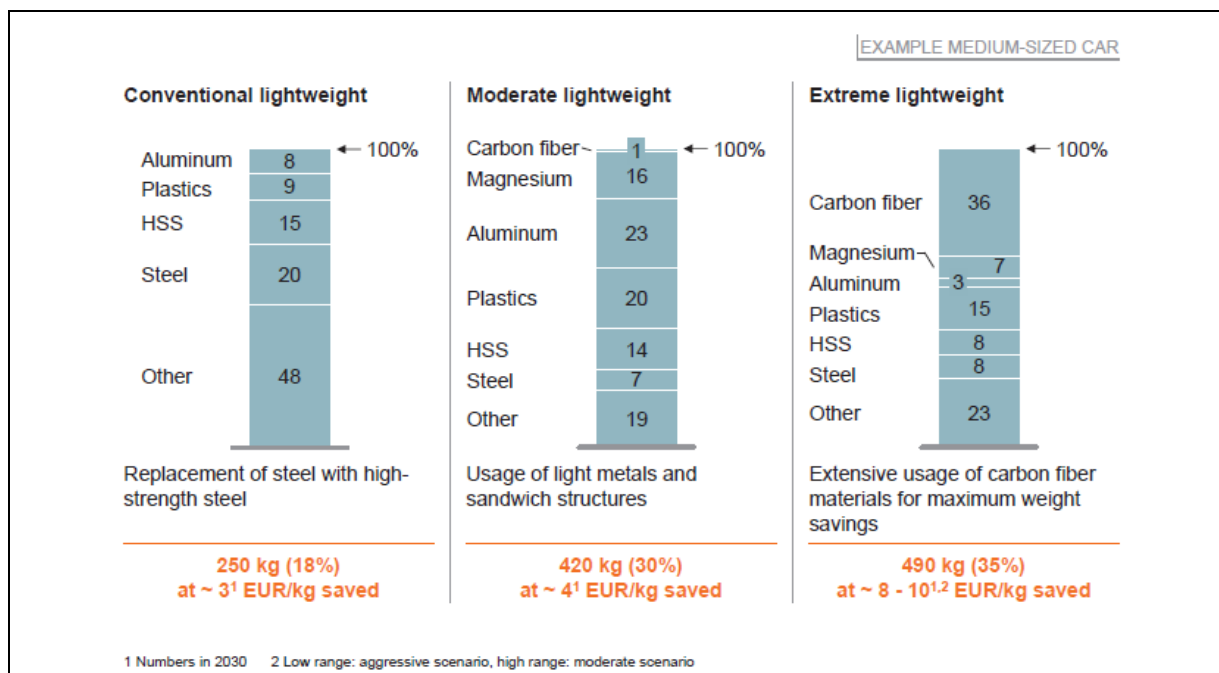


Abbildung 26: Materialzusammensetzungen diverser Lightweight Packages⁹⁸

Der Grad der Bereitschaft der Automobilhersteller, für die Gewichtseinsparung in ihren PKW-Flotten zusätzliche finanzielle Mittel aufzuwenden, hängt im wesentlichen von der Art des Antriebstrangs, im Englischen Powertrain, sowie von der PKW-Klasse ab. In Abbildung 27 sind die drei Eigenschaften, nämlich die Art des Antriebs, die PKW-Klasse sowie Art des Lightweight Packages in einer Matrix dargestellt.

Es wird prognostiziert, dass sich die Hersteller für ihre Klein- und Mittelklasse-PKW, die etwa einen Marktanteil von 66% des Automobilmarktes ausmachen, auf das Conventional Lightweight Package fokussieren werden, da angenommen wird, dass der zusätzliche

⁹⁸ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 16.

Kostenaufwand für die Gewichtseinsparung in diesen PKW-Klassen nur mit diesem Package realisiert werden kann.

Für die PKW der Oberklasse wird angenommen, dass sich die Automobilhersteller an der Materialzusammensetzung des Moderate Lightweight Packages orientieren werden. Der Anteil dieser Fahrzeuge beträgt etwa 33% am Gesamtmarkt.

Nur für das Luxussegment, mit einem Marktanteil von 1%, wird eine Fokussierung auf das Extreme Lightweight Package erwartet, da dieses mit enormen Zusatzkosten verbunden ist.

Diese Annahmen für die Zuordnung der einzelnen PKW-Klassen zu den jeweiligen Lightweight Packages erfolgt durch einen Abgleich der von den Herstellern akzeptierten Zusatzkosten für die Gewichtseinsparung in der entsprechenden PKW-Klasse (Accepted Costs) und der durch die Umsetzung der diversen Packages verursachten Zusatzkosten pro eingespartem Kilogramm (Package Cost).

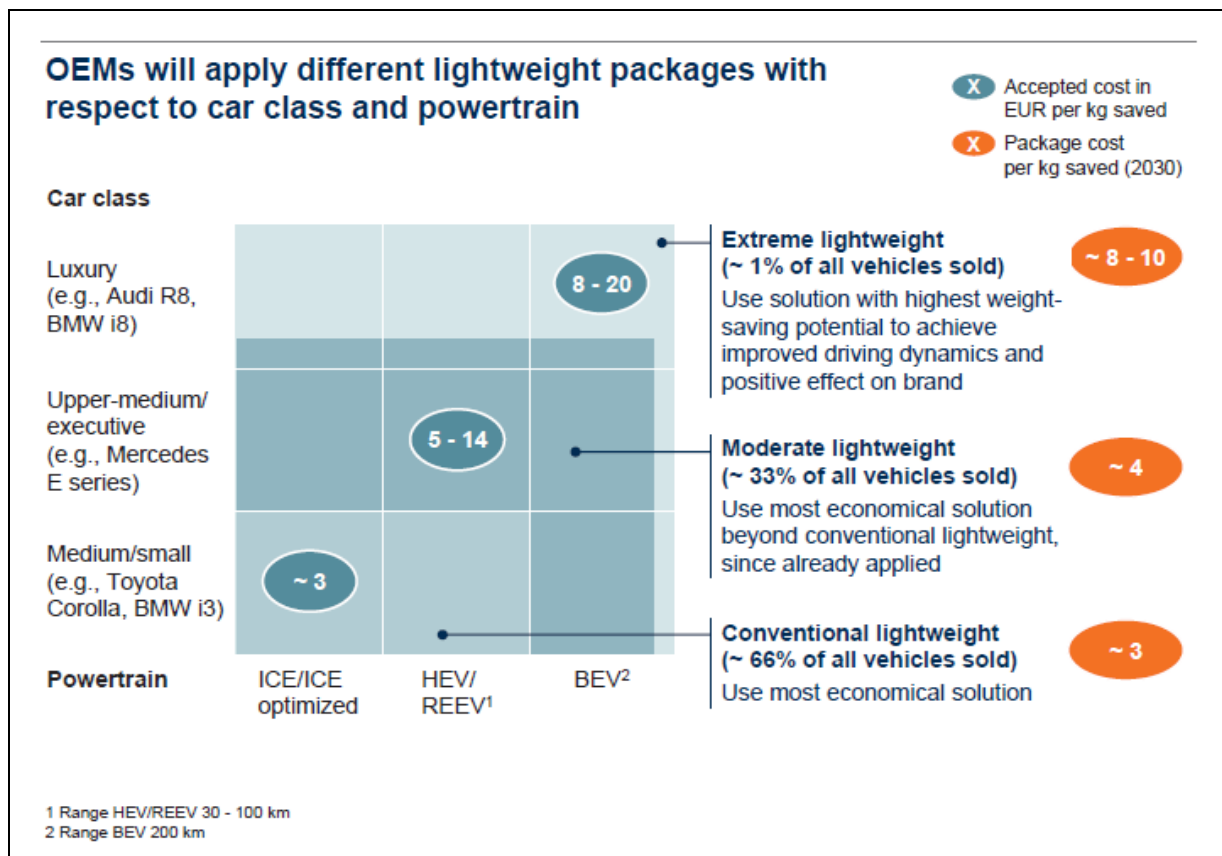


Abbildung 27: Zuordnung der Lightweight Packages zu den jeweiligen PKW-Klassen⁹⁹

Mit diesen Vorschlägen bezüglich der Zuordnung der PKW-Klasse und der Art des Antriebstrangs zu den jeweiligen Lightweight Packages werden den Automobilherstellern verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, Leichtbaumaterialien optimal in den Herstellungsprozess mit einzubeziehen.

⁹⁹ Vgl. HEUSS, R. et al. (2012), S. 15ff.

3.1.4 Einsatz von Kohlefaserverbund in der Serienfertigung

Besonders in hochwertigen Sportwagen und in der Formel 1 findet der Einsatz von CFK schon seit Jahrzehnten Verwendung, allerdings kaum oder nie über eine Stückzahl von 100 Teilen hinausgehend.

Die Studie „Serienproduktion von hochfesten Faserverbundbauteilen“ von Roland Berger verdeutlicht, dass für die Produktion von hochfesten Bauteilen aus Faserverbund in der Automobilindustrie durchgehende und automatisierte Prozessketten nötig sind. Nur dadurch kann CFK zukünftig in einer hohen Stückzahl in den Fahrzeugen verbaut werden.

In Abbildung 28 werden die prognostizierten Prozesskosten für das Jahr 2020 mit den aktuellen Prozesskosten verglichen. Es wird deutlich, dass die heutigen Kosten für die Herstellung bei etwa der Hälfte der Gesamtkosten liegen. Durch Verringerung der Zykluszeiten aufgrund der Optimierung der Matrixwerkstoffe, aber auch durch sinnvolle Automatisierung und Vereinfachung der Prozesse, ist eine Senkung der Prozesskosten um bis zu 40 % bis zum Jahr 2020 möglich.

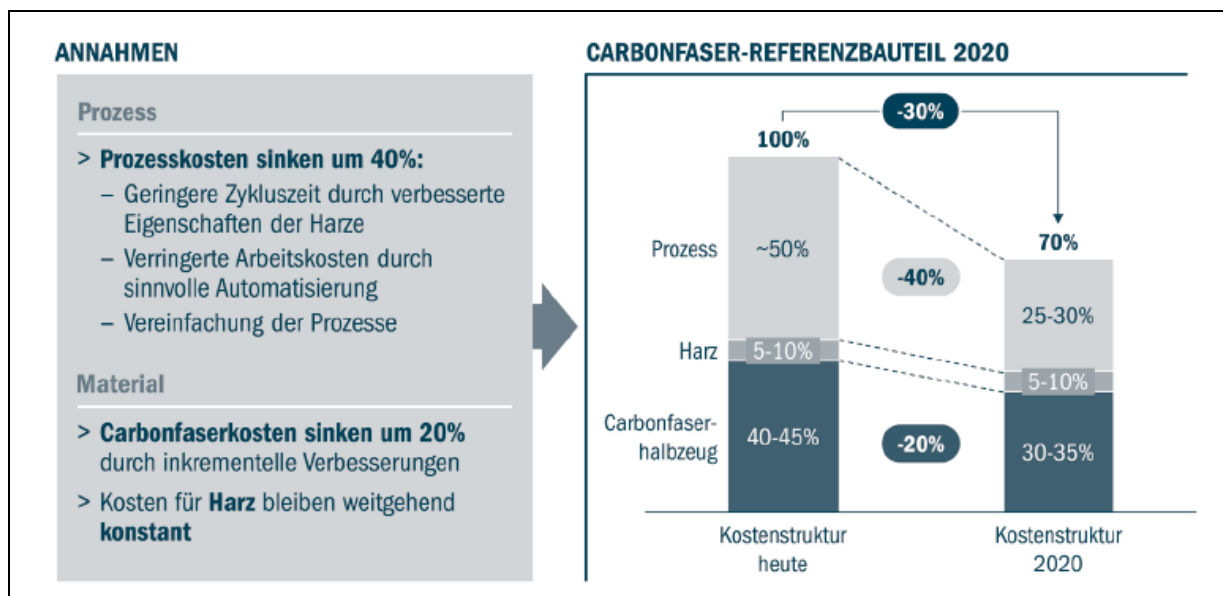


Abbildung 28: Kostenstrukturveränderung bis zum Jahr 2020¹⁰⁰

Zu den Vorreitern in der Automobilindustrie zählt der AUDI R8, bei dem ein erhöhter Anteil an CFK in einer 1.000er-Serie eingesetzt wurde. Eine vollständige Karosserie aus CFK, in einer hohen Stückzahl über 10.000 Stück pro Jahr, plant aktuell die BMW Group in ihrem BMW i3-Projekt, dessen erste Fahrzeugauslieferung für das Jahr 2013 geplant ist. Dabei wurden für die gesamte Wertschöpfungskette von der Faser bis zum Bauteil entsprechende Produktionsstätten errichtet. Allerdings ist es momentan hauptsächlich der Kosten wegen nicht zu erwarten, das kurz- oder mittelfristig weitere Fahrzeuge in Mittelserie (ab 10.000 Stück pro Jahr) aus einer kompletten CFK-Karosserie hergestellt werden.¹⁰¹

¹⁰⁰ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 18.

¹⁰¹ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 25.

Für den BMW i3 hat die BMW Group, gemeinsam mit dem Chemieunternehmen SGL in Moses Lake/USA, eine Fabrik zur Herstellung von Kohlefasern errichtet, die anschließend in Deutschland zu Matten verwoben werden. Daraus entstehen in Verbindung mit Harz feste Elemente, die am BMW-Standort Landshut produziert werden. Aus diesen Elementen wird anschließend im BMW Werk Leipzig die Karosserie des BMW i3 produziert. Bei diesem Model handelt es sich um das erste reine Elektroauto von BMW, dessen Markteintritt gegen Ende 2013 erwartet wird. Das Gesamtinvestment für das BMW i3-Projekt wird auf rund eine Milliarde Euro geschätzt. Der Verkaufspreis des BMW i3 dürfte bei rund 40.000 Euro pro Fahrzeug liegen.¹⁰²

In Abbildung 29 ist die Nachfragestruktur für CFK im Automobilbereich mit den anderen, volumentreibenden Bereichen verglichen.

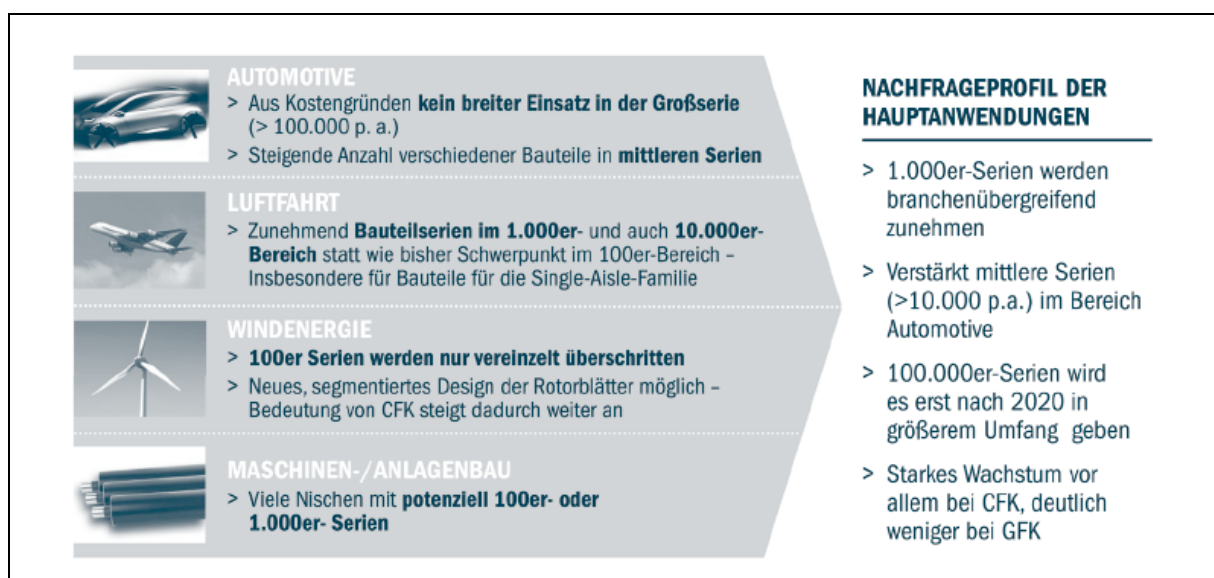


Abbildung 29: Nachfragestruktur für CFK bis 2020¹⁰³

Demnach wird der Einsatz von CFK in 1.000er-Serien branchenübergreifend zunehmen, eine Großserie ab 100.000 Stück pro Jahr wird jedoch nur im Automobilbereich ab dem Jahr 2020 erwartet.

3.2 Leichtbautentwicklungen im Luftfahrtbereich

In der Luftfahrt werden schon sehr lange Zeit Leichtbaumaterialien eingesetzt, unter ihnen auch hochfeste Faserverbundbauteile, allerdings ist der CFK-Anteil im Bereich der Strukturbauteile moderner Flugzeuge in den letzten Jahren sehr stark angestiegen. War Mitte der 90er Jahre Aluminium Hauptbestandteil in den verschiedenen Modellen von Boeing und Airbus (z.B. Boeing B777 oder Airbus A330), bestehen die heutigen Flugzeuge zu mehr

¹⁰² Vgl. www.spiegel.de, (05.12.2012)

¹⁰³ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 33.

als 50% aus Faserverbundbauteilen, wie Abbildung 30 verdeutlicht. Ein Vergleich des Materialmix der Boeing B737 von 1967 mit der Boeing B787 von 2011 zeigt deutlich die Trends der Entwicklung auf: Bestand die B737 zu 79% aus Aluminium und 3% CFK, besteht die B787 nunmehr zu 20% aus Aluminium und 50% Composite.¹⁰⁴

Die Luft- und Raumfahrtbranche ist aufgrund ihrer jahrzehntelangen Erfahrung mit hochfesten Faserverbundbauteilen absoluter Vorreiter unter jenen Branchen, die Faserverbundbauteile verarbeiten. Dass sich die vergleichsweise hohen Kosten lohnen, die für die Gewichtsvorteile in Kauf genommen werden, kann in folgender Amortisationsrechnung belegt werden.

Bei einer Betriebsdauer von 60.000 Stunden kann pro eingespartem Kilogramm der Treibstoffverbrauch um etwa drei Tonnen Kerosin gesenkt werden. Somit lassen sich über die gesamte Flugzeulebensdauer Mehrkosten von ca. 400 - 500 Euro pro eingespartem Kilogramm amortisieren. Zusätzliche Kostenreduzierungsmöglichkeiten bestehen bei der Wartung von Flugzeugen, da CFK in der Regel nicht so verschleiß- und ermüdungsanfällig ist wie konventionelle Materialien.¹⁰⁵

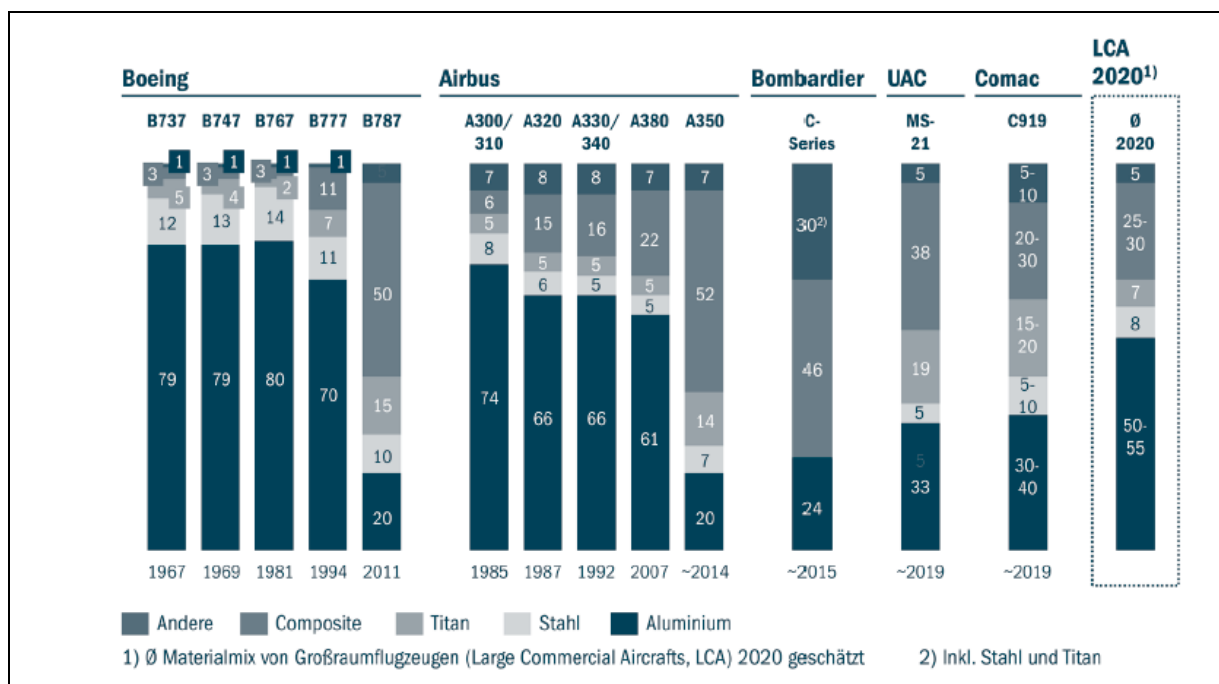


Abbildung 30: Entwicklung des Materialmix kommerzieller Großraumflugzeuge¹⁰⁶

Da in der Luftbranche hauptsächlich Strukturbauteile aus CFK gefertigt werden, kommen diverse Faserverbundwerkstoffe auch für das Flugzeuginterieur zum Einsatz, allerdings in

¹⁰⁴ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 26.

¹⁰⁵ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 27.

¹⁰⁶ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 26.

erster Linie aus GFK. Die Anwendungsmöglichkeiten sind hierbei vielfältig und erstrecken sich von diversen Verkleidungsteilen bis hin zu Einbauten wie Ablagen und Schränke.¹⁰⁷

Die typischen Seriengrößen in der Luftfahrt hängen von den konkreten Bauteilen und deren Anwendungen ab. Großbauteile, wie Flügelschalen, werden etwa in 100er-Serien benötigt und hergestellt, wohingegen sich bei kleineren Teilen, wie Versteifungsrippen oder Clips, auch 1.000er-Serien oder sogar 10.000er-Serien ergeben können.¹⁰⁸

Die Entwicklung des eingesetzten Faserverbundanteils ist in Abbildung 31 dargestellt. Im Jahr 1970 lag der Anteil an Verbundwerkstoff noch bei etwa 5 %, damals verbaut im Airbus A300. Erst ab dem Jahr 2000 ist ein deutlicher Anstieg zu erkennen.

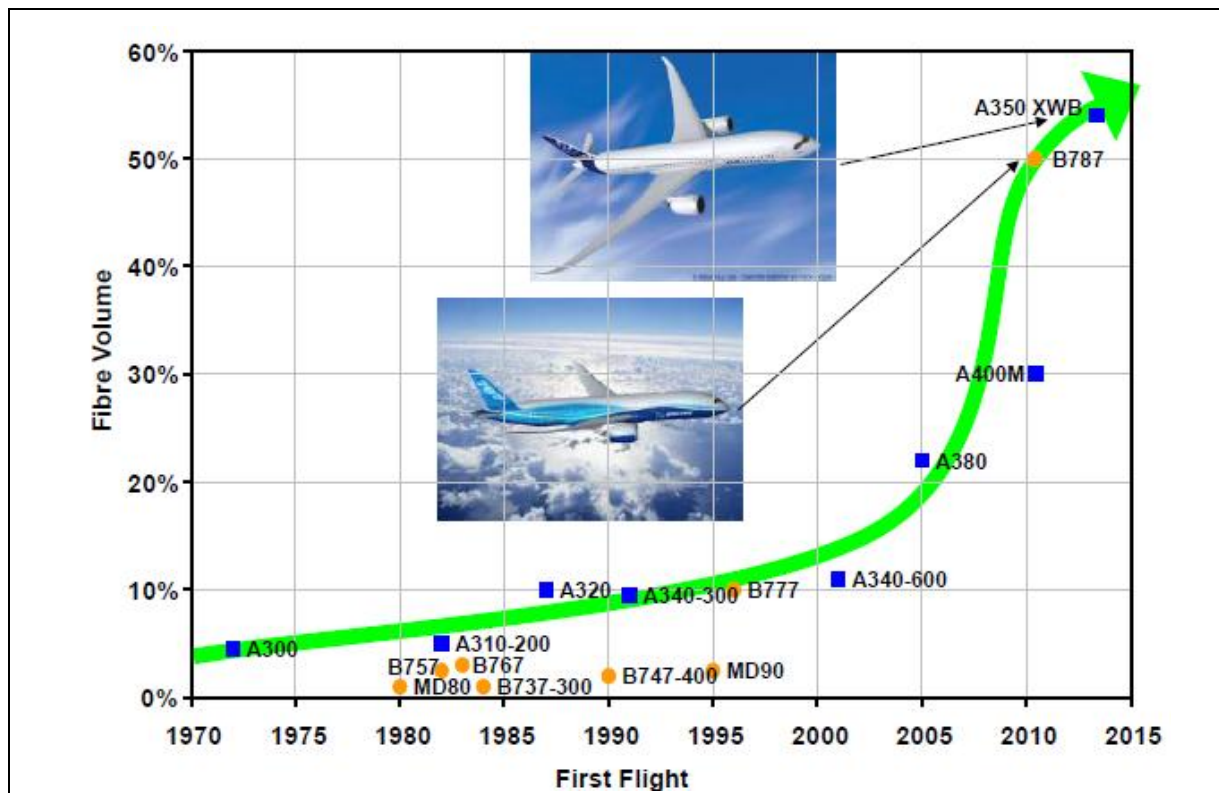


Abbildung 31: Entwicklung des Fasermengenanteils bei Airbus und Boeing¹⁰⁹

Der absolute Durchbruch für CFK in Strukturbauteilen gelang jedoch erst im Jahr 2010 durch die Einführung der neuen Generation von Langstreckenflugzeugen, der Boeing B787 und des Airbus A350 XWB (Xtra Wide Body). Beide dieser Flugzeugtypen haben erstmals einen kompletten Flugzeugrumpf aus CFK und erreichen damit einen CFK-Anteil von mehr als 50%. Die Seriengröße dieser Flugzeuge liegt jeweils bei etwa 110 – 130 Stück pro Jahr.¹¹⁰

¹⁰⁷ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 27.

¹⁰⁸ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 27.

¹⁰⁹ Vgl. WIEDEMANN, M. (2009), S. 2.

¹¹⁰ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 26.

a) AIRBUS A350 XWB

Der AIRBUS A350 XWB wird hauptsächlich am Standort Stade der Firma Airbus in Deutschland produziert. Dieser Langstreckenflieger verbraucht laut Hersteller gegenüber vergleichbaren Flugzeugen rund 25% weniger Kerosin und verursacht in etwa 25% weniger Instandhaltungskosten. Der Rumpf des A350 wird komplett aus CFK gefertigt und ist aus einzelnen Paneelen zusammengesetzt, wie Abbildung 29 verdeutlicht.¹¹¹



Abbildung 32: CFK-Rumpf Airbus A350 XWB¹¹²

Der Materialmix des A350 XWB besteht hauptsächlich aus Faserverbundmaterialien (53%), aber auch Titan und moderne Aluminiumlegierungen werden verarbeitet.¹¹³

b) Boeing B787

Die Firma Boeing verfolgt mit ihrem Model B787, dem sog. Dreamliner, eine klare Strategie der Kostensenkung. Laut Hersteller verursacht dieser Flugzeugtyp 30% weniger Instandhaltungskosten und verbraucht 20% weniger Treibstoff gegenüber anderen Flugzeugen vergleichbarer Größe. Im Gegensatz zum A350 wird der Rumpf des Dreamliners nicht aus einzelnen Teilen, sondern im Ganzen aus CFK gefertigt, wie in Abbildung 33 zu erkennen ist.¹¹⁴

¹¹¹ Vgl. www.bild-der-wissenschaft.de (29.04.2013)

¹¹² Vgl. MARKUS, S.; GEISTBECK, M.; NÄGELE, M. (2011), S. 3.

¹¹³ Vgl. www.eads.com (20.04.2013)

¹¹⁴ Vgl. www.bild-der-wissenschaft.de (29.04.2013)



Abbildung 33: CFK-Rumpf Boeing B787¹¹⁵

Durch diese beiden Flugzeugtypen der beiden größten Hersteller von Flugzeugen für die zivile Luftfahrt wird deutlich, welche Rolle Faserverbundbauteile, insbesondere CFK, in der Luftfahrtbranche spielen.

3.3 Leichtbuentwicklungen im Sportbereich

Im Sportbereich finden Leichtbaumaterialien einen breit gefächerten Einsatz. Besonders Aluminium und Titan werden in etlichen Sportartikeln, wie Fahrrädern, Ski, Skistöcken, Tennisschlägern usw. eingesetzt.

Aber auch Faserverbund wird zunehmend für die Herstellung einiger Sportgeräte verwendet. So findet CFK bereits seit 1980 Absatz für hochwertige Sportgeräte, die in Sportarten wie Golf, Tennis und dem Radsport eingesetzt werden.¹¹⁶

Bei Golfschlägern hat CFK dabei eine sehr spezielle Funktion. Für die Krone des Schlägerkopfes kommt bei Drivern, auch Holz 1 genannt, eine sehr leichte Schicht aus CFK zum Einsatz, mit dem Vorteil, dass in Bereichen des Kopfes, mit denen der Ball getroffen wird, mehrere Schichten eines schwereren Materials, wie Aluminium oder Titan, verwendet werden können, ohne das Gesamtgewicht des Schlägers zu erhöhen.¹¹⁷

Laut einer Studie des Fraunhofer Institutes ist die Bereitschaft in der Sportartikelbranche, pro eingespartes Kilogramm bis zu 300 Euro zusätzlich zu investieren, vorhanden. Dieser Wert hängt jedoch stark von der entsprechenden Anwendung sowie deren Nutzen für den Verbraucher ab.¹¹⁸

Jedoch eignet sich CFK aufgrund seiner hohen Herstellkosten noch nicht für die Herstellung von Massensportartikel und ist eher den Hochleistungs- und Luxusprodukten vorbehalten. Ein weiterer Grund dafür ist auch die schwierige Verarbeitung, die für Sportartikel meist nur

¹¹⁵ Vgl. www.industrieanzeiger.de (21.02.2013)

¹¹⁶ Vgl. BITTMANN, E. (2006), S. 76.

¹¹⁷ Laut den Aussagen einer Mitarbeitern des GolfHouse Münchens am 10.05.2013

¹¹⁸ Vgl. E-mobil BW GmbH, (2012), S. 13.

in Handarbeit möglich ist. So werden Rennräder aus CFK meist in handgefertigter Produktion, vorwiegend in asiatischen Ländern, produziert.¹¹⁹

Für das weitere Wachstum des CFK-Einsatzes im Breitensport werden lediglich 2% prognostiziert. Somit fällt dieser Bereich nicht unter die potentiellen Volumentreiber für faserverstärkte Kunststoffe.¹²⁰

Im Hochleistungssport wird CFK aufgrund seiner hohen Steifigkeit gegenüber seinem geringen Gewicht verbaut, da es hierbei besonders auf Schnelligkeit und Leichtigkeit ankommt. Um den Gewichtsvorteil optimal auszunutzen, werden beispielsweise im Rudern, Speerwurf oder Stabhochsprung Sportartikel aus CFK eingesetzt. Die Kooperationen, die zwischen dem Hochleistungssport und der CFK-Industrie geschlossen wurden, deuten allerdings auf einen zunehmenden Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen hin. So sponsert die SGL Group, einer des größten Kohlefaserproduzenten der Welt, den Nationalkader der deutschen Ruderinnen bei den Olympischen Spielen oder die bayerische Meisterin im Speerwurf. Ein Speer aus CFK zeichnet sich durch eine sehr hohe Steifigkeit aus, wodurch die Schwingungen beim Abwurf auf ein Minimum reduziert werden und die Energie in Vortrieb und Weite umgesetzt wird. Auch die Paddel der Kanuten, die im Jahr 2012 bei den olympischen Spielen antraten, bestanden aus CFK.¹²¹

¹¹⁹ Vgl. www.maschinenmarkt.vogel.de (29.04.2013)

¹²⁰ Vgl. LÄSSIG, R. et al. (2012), S. 23.

¹²¹ Vgl. www.maschinenmarkt.vogel.de (29.04.2013)

4 Die splineTEX-Technologie

Die splineTEX-Technologie der Firma superTEX composites GmbH ermöglicht es, dreidimensional gekrümmte Faserverbundrohre in unterschiedlichen Durchmessern und unterschiedlichen Längen, ohne teure Formwerkzeuge, wirtschaftlich herzustellen.

Die Bauteile können auf einfache Weise mittels Negativformen, partiellen Formen, punktuellen Fixierungen oder je nach verwendetem Inliner auch mittels Standard-Biegemaschinen geformt werden.

4.1 Verfahren und Strukturelementaufbau

Die Vorteile von splineTEX werden in erster Linie durch einen besonderen Strukturelementaufbau und Verfahrensablauf ermöglicht. Hierfür wird ein innovatives In- und Outliner-System benutzt. Während des Verform- und Aushärtprozesses schützt der Outliner die Bauteiloberfläche vor äußeren Einflüssen. Dies führt zu einer anspruchsvollen Sichtoptik der Bauteile.

Der Strukturelementaufbau der splineTEX-Technologie ist in Abbildung 34 schematisch dargestellt.

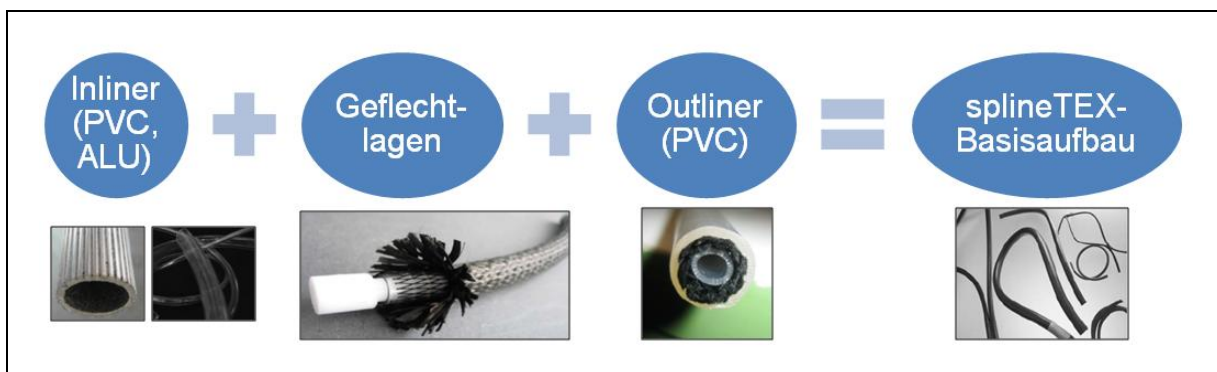


Abbildung 34: Aufbau der splineTEX-Technologie¹²²

Für den Standardaufbau wird für den Inliner entweder ein Kunststoffschlauch oder ein Aluminiumrohr verwendet. Für den Outliner kommt ausschließlich ein Kunststoffschlauch zum Einsatz. Die Geflecht-lagen können aus verschiedenen Fasermaterialien bestehen, für die splineTEX-Technologie werden jedoch vorwiegend Kohlefasern verwendet. Der Verfahrensablauf zur Herstellung von splineTEX-Strukturbauteilen erstreckt sich über mehrere Bearbeitungsschritte.

¹²² In Anlehnung an SCHENNACH, O. (2013, a), S. 4.

Die Rohmaterialien liegen dabei in folgender Form vor:

- **Verstärkungsfasern:** Die Fasern für die einzelnen Geflechtlagen werden als geflochtene Schläuche, sog. Geflechtsschläuche, als Meterware geliefert.
- **Fließhilfe:** Genau wie die Verstärkungsfasern wird auch die Fließhilfe, in Form eines Schlauches, als Meterware angeliefert.
- **Matrixwerkstoff:** Die Harze, die bei der splineTEX-Technologie für den Infundierprozess verwendet werden, liegen in flüssiger Form bei Raumtemperatur vor.
- **In- und Outliner:** Der Inliner liegt entweder in Form eines längsgerillten Aluminiumrohres oder eines glatten Kunststoffschlauches vor. Für den Outliner wird ausschließlich ein glatter Kunststoffschlauch verwendet.

Die splineTEX-Technologie ist den Harzinjektionsverfahren zuzuordnen, die bereits in Kapitel 2.2.2 erläutert wurden. Generell werden bei dieser Technologie zwei verschiedene Strukturelementtypen unterschieden, der splineTEX-flex, abgekürzt mit sT-flex und der splineTEX-plast, abgekürzt mit sT-plast.

4.1.1 splineTEX - flex

Für die Variante des sT-flex wird ein Inliner aus biegsamem Kunststoff verwendet. Für die bessere Infundierbarkeit des Harzes wird zusätzlich eine Fließhilfe auf den Inliner mittels Flechten aufgebracht, ebenfalls aus Kunststoff. Je nach gewünschter Faserverbundwandstärke wird anschließend der Inliner mehrfach umflochten. Danach wird der Outliner über die Faserlagen gezogen. Dieser Aufbau wird als sogenannter sT-flex Rohling bezeichnet. In einem nächsten Schritt werden die Anschlüsse für den Harzinjektionsprozess an den beiden Schlauchenden befestigt. Die Formgebung für den sT-flex Rohling kann generell auf verschiedene Arten erfolgen. Zum einen kann eine komplett geschlossene Form verwendet werden, zum anderen reichen jedoch auch partielle Formen oder lokale Fixierungen aus, um den Rohling in die gewünschte Form zu bringen. Aufgrund des Outliners können einfache Formen, ohne nennenswerte Anforderungen an die Oberfläche, verwendet werden.

a) sT-flex in geschlossener Form:

Der Rohling wird in eine geschlossene, zweiseitige Form eingelegt. Anschließend wird der PVC-Inliner mit Druck beaufschlagt, um eine optimale Kompaktierung der Faserlagen zu erreichen. Die Harzinjektion kann sowohl mittels Druckinfiltration als auch mittels Vakuuminfiltration erfolgen. Ist die Harzinjektion vollständig abgeschlossen, wird das Bauteil in der Form belassen, ausgehärtet und ggf. getempert. Anschließend wird das Bauteil aus

der Form genommen und sowohl der Inliner als auch der Outliner werden entfernt. Das fertige Bauteil kann abschließend auf Endlänge zugeschnitten werden. In Abbildung 35 ist der Verfahrensablauf für den sT-flex schematisch dargestellt.

b) sT-flex in partieller Form bzw. partieller Fixierung:

Kommt es bei Bauteilen nicht auf eine genaue Form- und Maßhaltigkeit an, können die sT-flex Rohlinge mittels partieller Formen bzw. lokalen Fixierungen in Form gebracht werden. Somit ist die Gestaltung von freiformbaren, komplexen Strukturen und Geometrie möglich. Für die Harzinjektion wird vorwiegend das Vakuuminjektionsverfahren angewendet, jedoch ist bei herabgesenktem Druck auch die Verwendung des Druckinjektionsverfahrens möglich. In Abbildung 35 ist der Verfahrensablauf für die Herstellung von sT-flex-Strukturelementen dargestellt

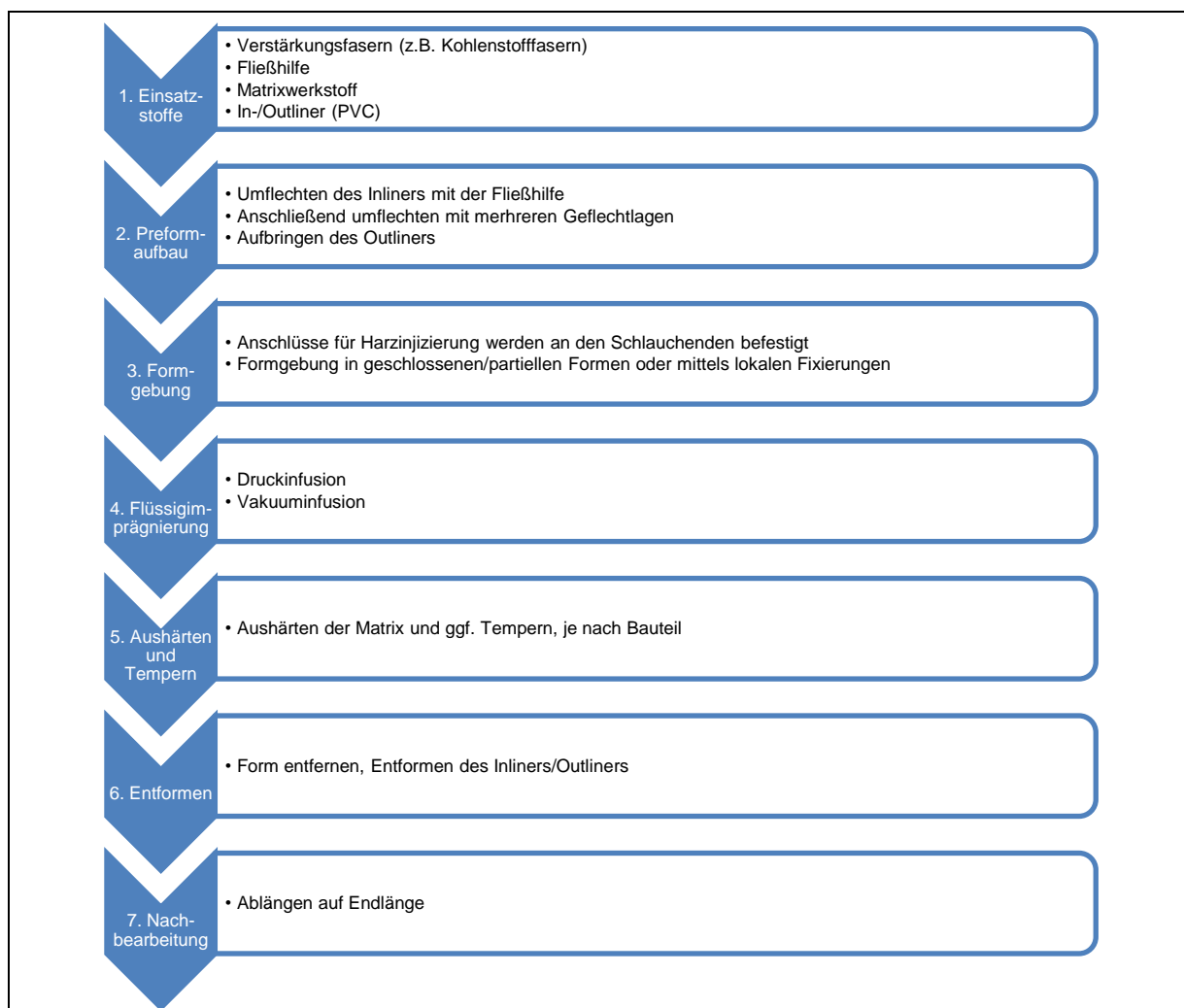


Abbildung 35: Verfahrensablauf sT-flex¹²³

¹²³ In Anlehnung an SCHILLFAHRT, C. (2013), S. 3ff.

Durch die Verwendung des Outliners sind Nachbearbeitungsschritte, wie Schleifen und Polieren, nicht notwendig. Lediglich die beiden Bauteilenden, an denen die Anschlussstellen für die Harzinjektion angebracht waren, müssen mittels Sägen abgetrennt werden.

Sowohl der In- als auch der Outliner können in die Funktion des Bauteils integriert werden. So fungiert der Outliner als Oberflächenbeschichtung, falls die Faseroptik nicht sichtbar sein muss, z.B. bei Griffen und Haltestangen. Der Inliner bietet den Vorteil der Medienbeständigkeit bei Einsatz der splineTEX-Technologie für fluidführende Leitungen. Der Outliner ist ein Schutz für das Bauteil während nachfolgender Bearbeitungsschritte, wie z.B. mechanische Bearbeitung oder die kathodische Tauchlackierung (KTL).

4.1.2 splineTEX - plast

Für den sT-plast wird ein Aluminiumstrangpressprofil mit Rillen entlang der Rohraußenseite, in Form von Meterware, als Inliner verwendet. Dadurch wird die Verwendung einer Fließhilfe überflüssig. Je nach gewünschter Faserverbundwandstärke wird anschließend der Inliner mehrfach mit Kohlefasern oder alternativen Fasern umflochten. Anschließend wird der Outliner über die Faserlagen gezogen. Dies entspricht dem Rohlingsaufbau für den sT-plast. Da hierbei ein Inliner aus plastisch formbarem Aluminium verwendet wurde, erfolgt die Formgebung über Standard Metallbiegemaschinen. Dafür ist die Verwendung eines dickeren Outliners nötig, um die Faserschichten während des Biegevorgangs optimal zu schützen. Anschließend erfolgen der Harzinjektionsprozess und die Aushärtung des Bauteils. In Abbildung 36 ist der Verfahrensablauf für die Herstellung von sT-plast-Strukturelementen dargestellt.

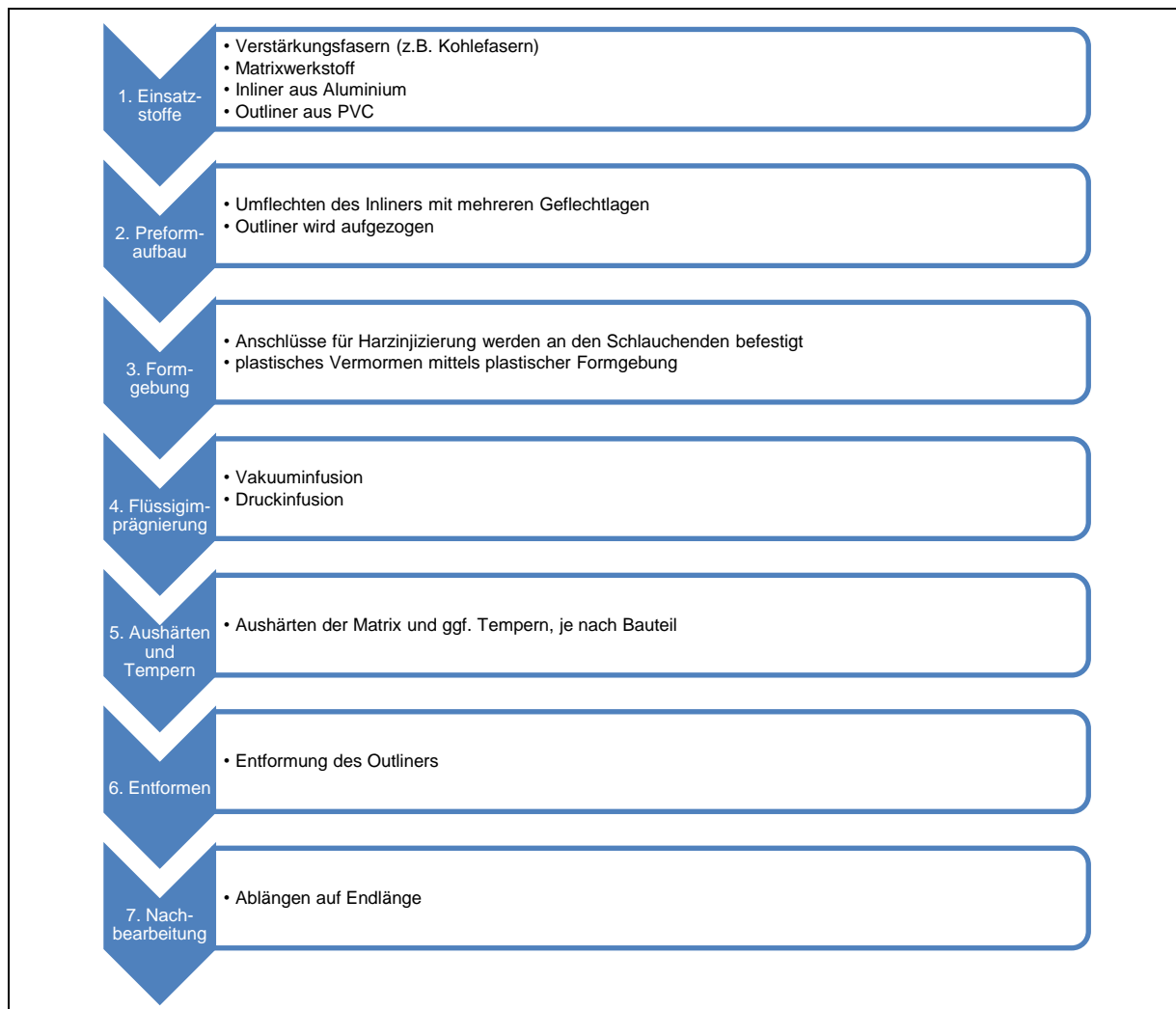


Abbildung 36: Verfahrensablauf sT-plast¹²⁴

Im Wesentlichen unterscheidet sich der sT-plast durch den Aluminiuminliner von der sT-flex-Variante, bei der ein PVC-Inliner verwendet wird.

4.1.3 Stärken-Schwächen-Analyse der splineTEX-Technologie

Aufgrund des speziellen Aufbaus der Strukturelemente, bestehend aus Inliner, textile Verstärkungsfasern und Outliner, ergeben sich folgende Stärken und Schwächen der splineTEX-Technologie, wie in Tabelle 3 und Tabelle 4 dargestellt.

¹²⁴ In Anlehnung an SCHILLFAHRT, C. (2013), S.3ff.

Tabelle 3: Stärken der splineTEX-Technologie¹²⁵

Stärken der splineTEX-Technologie	Alleinstellungsmerkmal
Eine trennnahtfreie Oberfläche mit Sichtoptik-Qualität, die keine Nachbehandlung erfordert, wird erreicht (sofern Harzeigenschaften wie z.B. UV-Stabilität ausreichen).	Ja
Die Prototypenproduktion kann schon sehr seriennah erfolgen, wodurch eine Skalierbarkeit des Verfahrens von kleinen bis zu hohen Stückzahlen möglich ist: Für sehr hohe Stückzahlen ist ein Verfahrenswechsel auf ein Standard RTM-Verfahren möglich.	Nein
Sehr niedrige Formwerkzeugkosten für Prototypen (im Vergleich zum RTM-Schlauchblasverfahren ¹²⁶ sind die Formkosten um den Faktor 10 niedriger)	Ja
Es sind keine aufwändigen Kerne notwendig, das bedeutet, dass der Flechtprozess kontinuierlich um den Inliner erfolgen kann, wodurch ein Kostenvorteil entsteht.	Nein
Der Preformaufbau wird für die weiteren Prozessschritte durch den Outliner vor Beschädigung bzw. Faserverschiebungen geschützt.	Ja
<p>Gegebenenfalls kann eine Funktionsintegration des Inliner / Outliner erfolgen.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dadurch Schutzfunktion während nachfolgender Bearbeitungsschritte gewährleistet (mech. Bearbeitung, KTL usw.). • Für den sT-plast: Unterbindung oder Verringerung des Fasersplitters sowie Ausnützen des plastischen Verhaltens des Aluminium-Inliners in „Crash“-Anwendungen. • Der Outliner fungiert als Oberflächenbeschichtung, falls die Faseroptik nicht sichtbar sein muss (Anwendung für diverse Griffe und Haltestangen in der Verkehrstechnik). • Dadurch Medienbeständigkeit des Inliners bei Einsatz als Fluidleitung. 	Ja

¹²⁵ Vgl. SCHENNACH, O. (2013, b), S.8.

¹²⁶ Siehe Kapitel 4.2.1

Zu den Schwächen der splineTEX-Technologie zählen folgende Eigenschaften, die in Tabelle 4 aufgelistet sind.

Tabelle 4: Schwächen der splineTEX-Technologie

Schwächen der splineTEX-Technologie
Es sind nur verhältnismäßig kleine Querschnittsveränderungen entlang der Bauteilachse möglich.
Die Formgebungseigenschaften hängen stark vom Faseraufbau und der Inliner / Outliner Kombination ab. So sind für kleinere Biegeradien keine unidirektionalen Faserlagen geeignet.
Es entstehen zusätzliche Materialkosten durch die Verwendung eines Outliners.
Aufgrund des Outliners ist für den Serienprozess kein Einsatz von Inserts möglich.

Bei den in Tabelle 3 aufgezählten Stärken der splineTEX-Technologie handelt es sich teilweise um Alleinstärkungsmerkmale der splineTEX-Technologie gegenüber anderen Verfahren.

4.2 Konkurrenzverfahren

Es gibt eine Vielzahl an Herstellverfahren für faserverstärkte Kunststoffbauteile. Ein kurzer Überblick über verschiedene Verarbeitungsarten wurden bereits in Kapitel 2.2.2 erwähnt.

Aus den verschiedenen Verarbeitungsarten heraus hat sich eine Reihe von Innovationen und Technologien zur Herstellung von Faserverbundbauteilen entwickelt.

Aufgrund des hohen Innovationsgrades der splineTEX-Technologie besteht derzeit kein direkt vergleichbares Konkurrenzverfahren zur wirtschaftlichen Herstellung länglicher, dreidimensional-geformter Bauteile in kleinen bis mittleren Stückzahlen. Daher werden im Folgenden einige Technologien näher betrachtet, mit denen ebenfalls gekrümmte Bauteile aus FVK realisiert werden können.

4.2.1 RTM - Schlauchblasverfahren

Das Resing Transfer Moulding (RTM) - Schlauchblasverfahren gehört zu den Harzinjektionsverfahren. Mit diesem Verfahren lassen sich komplexe Hohlkörper sowie Träger- und Rahmenstrukturen herstellen. Das trockene Fasermaterial wird dabei um einen flexiblen, aufblasbaren Silikonschlauch drapiert und anschließend in eine Metallform eingelegt. Nach dem Schließen des Werkzeuges wird der Blasschlauch mit einem Innendruck beaufschlagt. Dadurch legen sich die Fasern gleichmäßig an die Innenwand der Form an.

Anschließend erfolgt die Imprägnierung des Fasermaterials mit der Matrix, indem das Harz zwischen Werkzeugwand und Blasschlauch injiziert wird. Während der Aushärtung bleibt der

Blasschlauch unter Druck, wodurch eine gute Oberflächengüte an der Außenseite des Bauteils sowie ein hohes Faservolumenverhältnis von ca. 60% erreicht werden kann.^{127 128}

Im Unterschied zum splineTEX-Herstellungsverfahren sind beim RTM-Schlauchblasverfahren teure Metallformen mit polierter Oberfläche notwendig. Die Produktion von langen (>1,5 m), rohrförmigen Bauteilen in kleineren Stückzahlen ist aufgrund der hohen Formwerkzeugkosten in der Regel mit diesem Verfahren wirtschaftlich nicht sinnvoll. In Abbildung 37 ist der Herstellprozess des RTM-Schlauchblasverfahrens schematisch dargestellt.

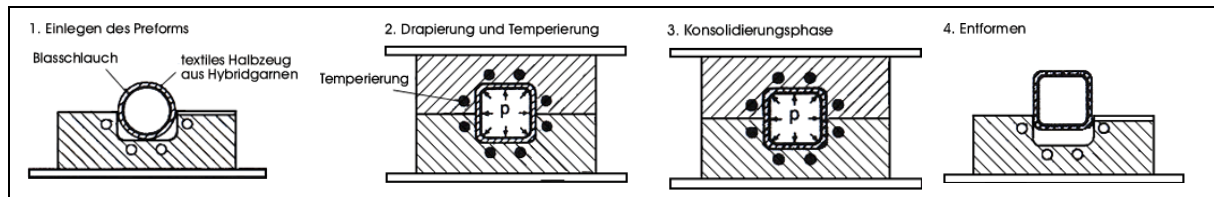


Abbildung 37: Schematische Darstellung des RTM-Schlauchblas-Verfahrens¹²⁹

Da für das RTM-Schlauchblasverfahren keine durchgehenden Prozessketten bestehen, sind mit diesem Verfahren Stückzahlen bis maximal 10.000 Stück pro Jahr umsetzbar. Da das Bauteil bis zur Aushärtung in der Form verbleibt, belaufen sich die Zykluszeiten etwa auf 20-60 Minuten.

Das RTM-Schlauchblasverfahren eignet sich für die Herstellung einer Vielzahl an Anwendungen aus unterschiedlichen Bereichen, wie z.B. Fahrradrahmen, Golfschläger, usw. Die Firma Acute Composites mit Sitz in China stellt seit mehr als 10 Jahren verschiedene Bauteile, wie gebogene Rohre, polygonale Rohre sowie Rohre mit unterschiedlichen Durchmessern mittels des RTM-Schlauchblasverfahren her.¹³⁰

Ein Vertriebskanal der Firma Acute Composites ist die Handels- und Kommunikationsplattform Alibaba.com, über die hauptsächlich B2B-Geschäfte abgewickelt werden. Dort werden z.B. Paddelschäfte aus CFK angeboten, deren Preis zwischen 10 und 90 US-Dollar beträgt. Laut Alibaba.com können pro Monat bis zu 5.000 gebogene Paddelschäfte hergestellt und geliefert werden.¹³¹

4.2.2 RTM - Verfahren in Kombination mit Flechtkernen

Bei diesem Verfahren wird als formgebendes Element ein Flechtkern verwendet, der aus verschiedenen Materialien bestehen kann, wie z.B. Silikon mit einem glasfaserverstärkten Stabilisierungsdorn. Dieser Kern wird mittels einer Flechtmaschine mit einem nahtlosen Tubus aus Kohlefasern beflochten. Dabei hängt die Wanddicke von der Anzahl der Flechtlagen ab. Der geflochtene Tubus wird samt Kern von der Flechtmaschine abgetrennt

¹²⁷ Vgl. NEITZEL, M.; MITSCHANG, P. (2004), S.285.

¹²⁸ Vgl. ERMANNI, P. (2004), S. 10-4.

¹²⁹ Vgl. www.mlu.mw.tu-dresden.de (04.04.2013)

¹³⁰ Vgl. www.acutecomposites.com (08.05.2013)

¹³¹ Vgl. www.alibaba.com (08.05.2013)

und in eine zweiteilige Negativform eingelegt. Mittels RTM-Verfahren wird das Harz in die Form injiziert. Nach dem der Aushärtvorgang in der geschlossenen Form beendet ist, wird der Kern entfernt und das Bauteil auf Maß geschnitten. In Abbildung 38 ist der Flechtprozess, bei dem der Kern mittels eines Roboters durch die Flechtmaschine geführt wird, dargestellt.¹³²



Abbildung 38: Flechtmaschine bei Kernumflechtung¹³³

Die gesamte Prozesskette der Kernumflechtung ist aus Abbildung 39 ersichtlich.

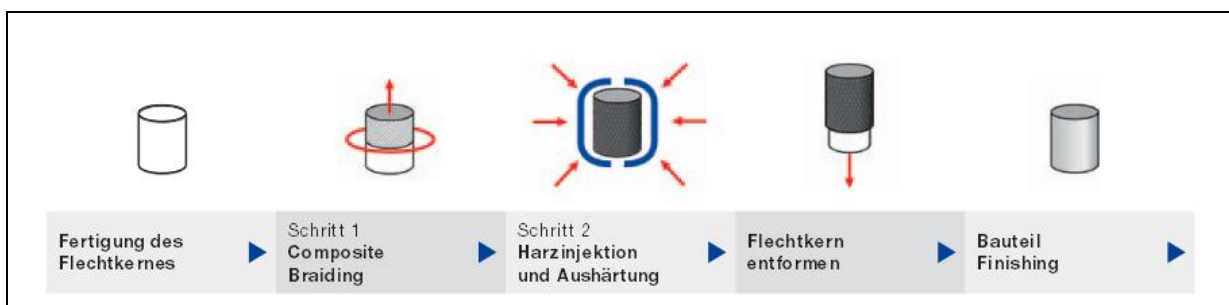


Abbildung 39: Prozessablauf Flechtkern¹³⁴

Mit diesem Verfahren produziert der Automobilhersteller BMW aktuell einige Bauteile für die Modelle i3 und i8. Auch die Firma Teufelberger bedient sich dieses Verfahrens, sowohl für Preforms als auch für Endbauteile.

¹³² Vgl. www.industrieanzeiger.de (16.05.2013)

¹³³ Vgl. www.industrieanzeiger.de (16.05.2013)

¹³⁴ Vgl. www.teufelberger-composite.com (16.05.2013)

4.2.3 Pultrusionsverfahren und artverwandte Verfahren

Das klassische Pultrusionsverfahren gehört zu den Endlosverfahren, den sogenannten Strangziehverfahren, und bietet die kontinuierliche Herstellung von geraden FVK-Endlosprofilen mit konstantem Querschnitt und unidirektionaler Faserlage. Bei der Pultrusion handelt es sich um einen vollautomatisierten Prozess, der durchaus als großserientauglich eingestuft werden kann.¹³⁵

Bei diesem Verfahren wird das Fasermaterial als Bündel (unidirektional) zunächst durch ein duroplastisches Harzbad geführt (Imprägnierung), in dem es vollständig mit dem Matrixwerkstoff benetzt wird. Anschließend läuft der Strang durch ein beheizbares und formgebendes Werkzeug, wie in Abbildung 40 schematisch dargestellt ist. Danach erfolgt der Abkühlungs- und Aushärtprozess. Abschließend wird das Endlosprofil auf die gewünschte Länge zugeschnitten.¹³⁶

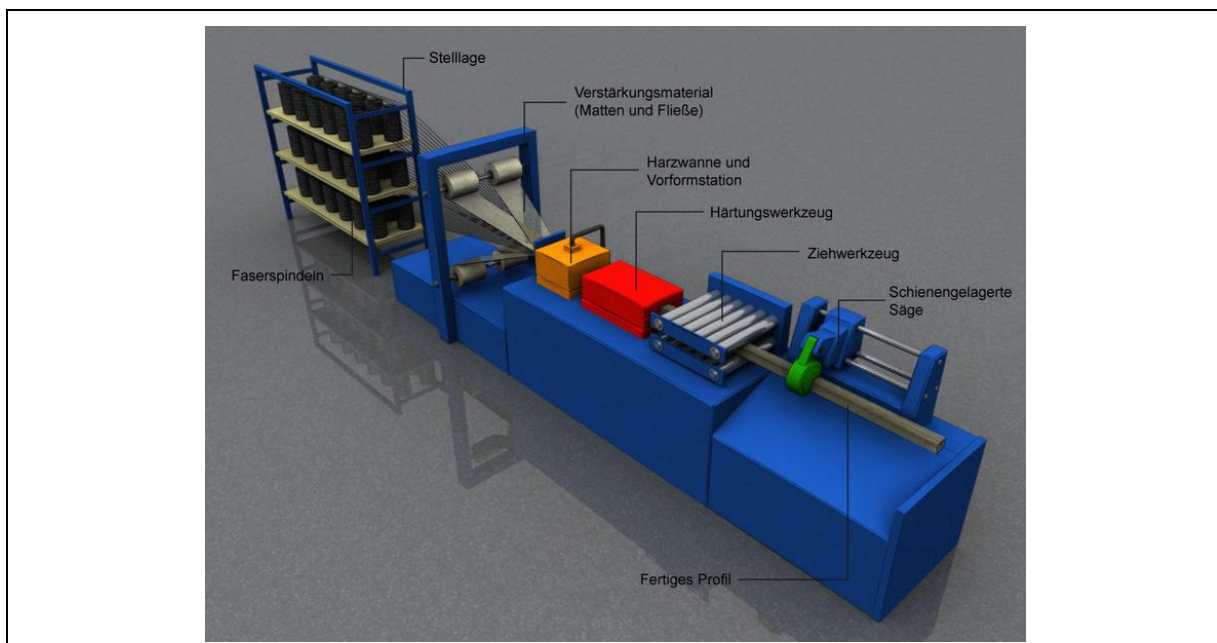


Abbildung 40: Schematische Darstellung des Pultrusionsprozesses¹³⁷

Mit diesem Verfahren können sowohl Vollprofile als auch Hohlprofile hergestellt werden. Dabei erfolgt die Herstellung von Hohlprofilen unter zusätzlicher Verwendung eines Kerns, wie in Abbildung 41 schematisch dargestellt ist.

¹³⁵ Vgl. NEITZEL, M.; MITSCHANG, P. (2004), S.235.

¹³⁶ Vgl. NEITZEL, M.; MITSCHANG, P. (2004), S.236.

¹³⁷ Vgl. www.commonswikimedia.org (04.03.2013)

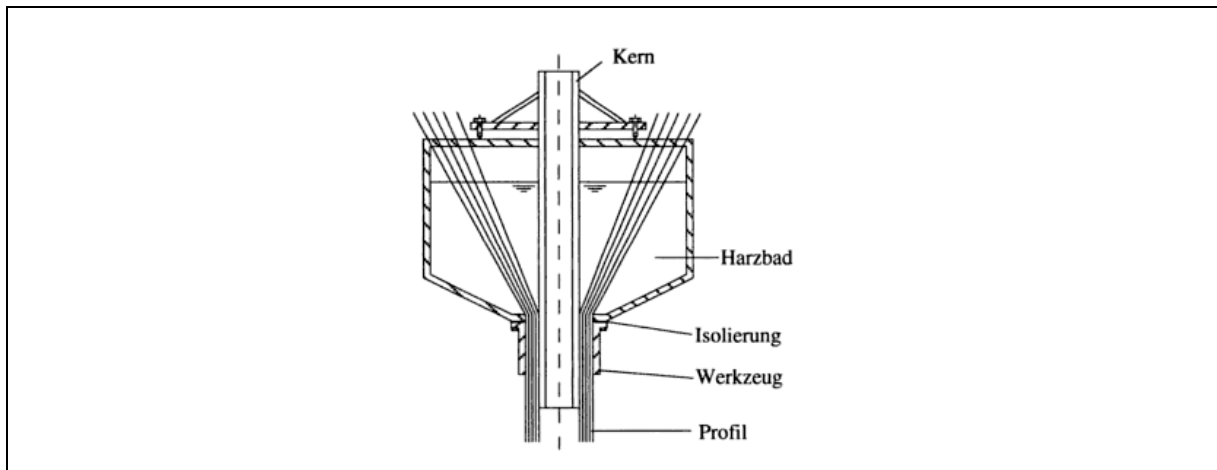


Abbildung 41: Herstellung pultrudierter Hohlprofile¹³⁸

Da bei der klassischen Pultrusion nur eine unidirektionale Faserverstärkung in Bauteillängsrichtung vorliegt, haben sich weitere Verfahrensvarianten, wie das Pullbraiding- oder das Pullwinding-Verfahren, entwickelt.¹³⁹

1) Das Pullbraiding-Verfahren

Beim Pullbraiding-Verfahren handelt es sich um eine Kombination aus klassischer Pultrusion und Flechtprozess. Durch eine zusätzliche Flechtung der Fasern wird eine Verstärkung quer zur Produktionsrichtung ermöglicht. Dadurch entsteht ein erheblicher Vorteil hinsichtlich Schwindung und Verzug im Bauteil. In Abbildung 42 ist der Flechtprozess des Pullbraiding-Verfahrens dargestellt.¹⁴⁰

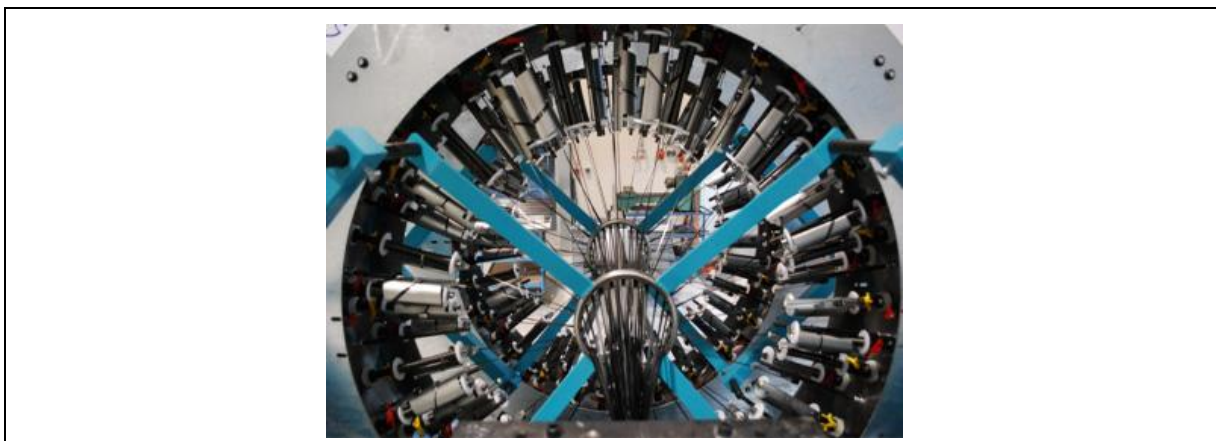


Abbildung 42: Flechtprozess des Pullbraiding-Verfahrens¹⁴¹

¹³⁸ Vgl. FLEMMING, M.; ZIEGMANN, G.; ROTH, S. (1996), S.167.

¹³⁹ Vgl. NEITZEL, M.; MITSCHANG, P. (2004), S.240.

¹⁴⁰ Vgl. NEITZEL, M.; MITSCHANG, P. (2004), S.240.

¹⁴¹ Vgl. www.secar.at (04.04.2013)

Mit dem Pullbraiding-Verfahren werden ebenfalls Voll- und Hohlprofile im Endlosverfahren hergestellt.

2) Das Pullwinding-Verfahren

Hier handelt es sich um eine Kombination aus klassischer Pultrusion und Wickelprozess. Durch eine Kreuzwicklung der Fasern werden höhere Torsionsfestigkeiten erreicht.¹⁴²



Abbildung 43: Pullwinding-Verfahren¹⁴³

Die Fasern werden bei diesem Verfahren jedoch nur gewickelt und nicht wie beim Pullbraiding-Verfahren aufwendig geflochten, wie in Abbildung 43 dargestellt ist.

3) Das Pullcurve-Verfahren und das Radius-Pultrusions-Verfahren

Mit dem Pullcurve- bzw. Radius-Pultrusions-Verfahren lassen sich gekrümmte, faserverstärkte Profile unterschiedlicher Radien im Endlosverfahren herstellen. Dieses Verfahren unterscheidet sich von der klassischen Pultrusion durch ein formgebendes, umlaufendes Werkzeug, mit dem im Anschluss an die Erwärmung ein gewünschter Krümmungsradius im Bauteil erreicht werden kann.

Im Unterschied zum splineTEX-Verfahren ist bei der klassischen Pultrusion, aber auch bei den artverwandten Pultrusionsverfahren, die Imprägnierung mit der Matrix unmittelbar mit der Aufbringung der Verstärkungstextilien verknüpft.

Das Pultrusionsverfahren, sowie die artverwandten Verfahren Pullcurve, Pullbraiding und Pullwinding, werden von der Firma SECAR TECHNOLOGIE GMBH in Österreich angewendet. Dieses Unternehmen hat sich auf die Herstellung von Carbonplatten, Carbonrohren und Carbonprofilen spezialisiert. Die Hauptanwendungen für pultrudierte Rohrprofile sind Wellen, Isolationen, Streben, Fiberglas-Zeltstangen, Pflanzenstäbe, Fahnenstangen für Fahrräder, Versteifungen sowie der Modell- bzw. Drachenbau.¹⁴⁴

¹⁴² Vgl. NEITZEL, M.; MITSCHANG, P. (2004), S.240.

¹⁴³ Vgl. www.lawrietechology.com (04.04.2013)

¹⁴⁴ Vgl. www.secar.at (08.05.2013)

Die Firma Thomas Technik&Innovation stellt ebenfalls faserverstärkte Bogenprofile mit der patentierten Technologie der Radius-Pultrusion her. Dabei handelt es sich um ein dem Pullcurve-Verfahren sehr ähnliches Verfahren. Diese Technologie ermöglicht die Endloserstellung von Kreis- und Schraubenbögen unterschiedlicher Radien und Steigungen bis hin zu Schraubenfedern, ebenfalls unter der Verwendung eines formgebenden Werkzeuges.

4.2.4 BRAID Mandrel - Verfahren

Das BRAID Mandrel - Verfahren ist ein Herstellungsprozess, mit dem komplexe Faserverbundbauteile mittels eines Kerns hergestellt werden können. Dabei handelt es sich um einen endkonturnahen, strukturstabilen Schlauchkern, der mit Innendruck beaufschlagt wird. Auf diesen Schlauchkern werden die Fasern, entweder händisch oder mittels automatisierter Prozesse, abgelegt. Das Bauteil wird in eine Form gegeben, in die anschließend das Harz eingebracht wird. Während dieses Vorgangs fungiert der aufgeblasene Schlauchkern als Druckmembran und bildet das Faserverbundbauteil entsprechend der Form ab. Nach dem Aushärten des Harzes wird der Schlauch entnommen und kann für weitere Prozesse wiederverwendet werden.¹⁴⁵

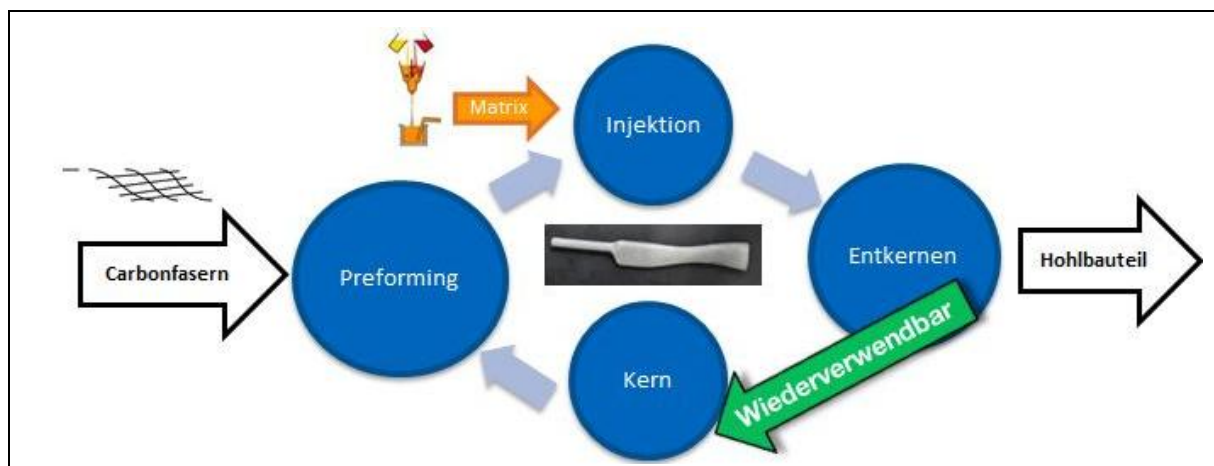


Abbildung 44: BRAID Madrel- Verfahren¹⁴⁶

Das BRAID Mandrel-Verfahren wurde von der Munich Composites GmbH entwickelt. Mit diesen speziell entwickelten Kernsystemen (BRAID Mandrel) kann die ganzheitliche Fertigung von geflochtenen (Hohl-) Bauteilen realisiert werden. Die Munich Composites GmbH ist im Mai 2011, als Spin-off-Unternehmen des Lehrstuhls für Carbon Composites, an der Technischen Universität München hervorgegangen. Laut Firmenhomepage liegen die Vorteile dieses Verfahrens in den kurzen Zykluszeiten, der Möglichkeit von Serienproduktion,

¹⁴⁵ Vgl. www.munich-composites.de (04.04.2013)

¹⁴⁶ Vgl. www.munich-composites.de (04.04.2013)

dem effizienten Materialeinsatz sowie in einer hohen erreichbaren Qualität durch automatisierte Prozesse.¹⁴⁷

4.2.5 Weitere Verfahrensprozesse

Für die Herstellung von frei geformten Hohlstrukturen, wie sie für Leitungssysteme im Möbel- und Designbereich und in anderen technischen Anwendungen benötigt werden, zählen auch lokal umgeformte, metallische Rohre zum heutigen Stand der Technik. Aus diesem Grund werden hier exemplarisch zwei wesentliche Verfahren zur Herstellung von verformten Metallrohren aufgezeigt.

a) CNC-Metallrohrbiegen

Mit dem CNC-Metallrohrbiegen werden komplexe, dreidimensional gebogene Rohrstrukturen aus Metall hergestellt, wie in Abbildung 45 dargestellt ist.

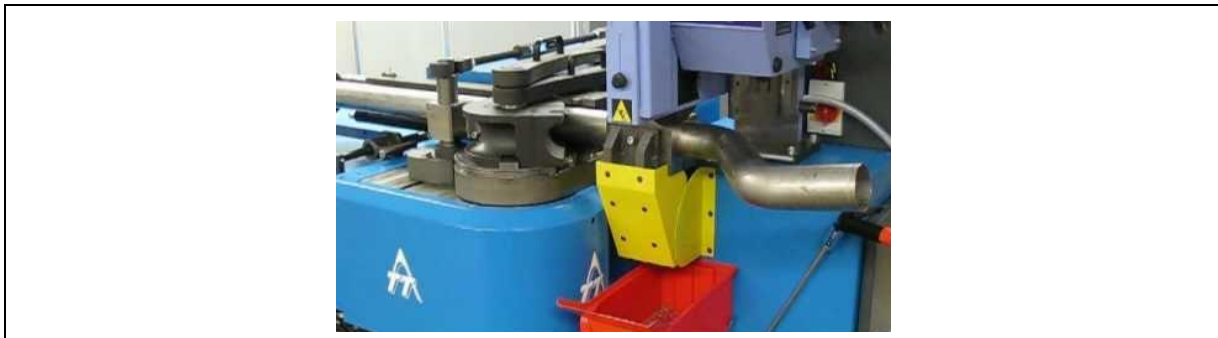


Abbildung 45: CNC-Metallrohrbiegemaschine¹⁴⁸

Dabei handelt es sich um eine mögliche Bearbeitungsweise von Metallrohren, mit der Bauteile aus Metall hergestellt werden, die eine ähnliche Form und Komplexität wie die Faserverbundelemente aufweisen, die mit der splineTEX-Technologie hergestellt werden können.

b) Innenhochdruckverfahren (IHU-Verfahren)

Mit dem IHU-Verfahren können komplexe Hohlkörper aus geraden oder vorgeformten Rohren, beispielsweise aus Aluminium, hergestellt werden. Dabei wird das Rohrstück in ein Formwerkzeug eingelegt, welches mittels einer Presse geschlossen wird. Die beiden Rohrenden werden durch einen Stempel abgedichtet. Anschließend wird durch einen der beiden Stempel Druckflüssigkeit (Wasser, Öl,...) mit bis zu 4000 bar in das Rohr eingeleitet. Dadurch wird das Rohrstück aufgeweitet und in die Form gepresst, wodurch es die Kontur dieser annimmt.

¹⁴⁷ Vgl. www.munich-composites.de (04.04.2013)

¹⁴⁸ Vgl. www.vengle.com (04.04.2013)

Dieses Verfahren ermöglicht die Herstellung von komplexen Werkstücken in Integralbauweise. Vorteile des IHU-Verfahrens sind die hohe Steifigkeit und Dauerfestigkeit, die hohe Toleranzgenauigkeit sowie eine gute Reproduzierbarkeit der Bauteile.¹⁴⁹



Abbildung 46: Bauteile mit IHU-Verfahren hergestellt¹⁵⁰

Mit diesem Verfahren lassen sich ebenfalls der splineTEX-Technologie ähnliche Bauteile, allerdings aus Metall, herstellen.

4.2.6 Vergleich der Konkurrenzverfahren mit splineTEX

Es wurden unterschiedliche Verfahren zur Herstellung von Faserverbundbauteilen aufgezeigt, mit denen sich ähnliche Formen und Strukturen, wie mit der splineTEX-Technologie, herstellen lassen. In Abbildung 47 werden diverse Eigenschaften der erwähnten Verfahren mit der splineTEX-Technologie verglichen. Dabei wurden die Eigenschaften in Part Designs und Manufacturing unterteilt.

¹⁴⁹ Vgl. www.metalltechnik-lexikon.de/ihu-innenhochdruckumformen (26.03.2013)

¹⁵⁰ Vgl. www.tuwien.ac.at (28.2.2013)

		● Gut realisierbar ● Schwer realisierbar ● Nicht realisierbar	splineTEX	RTM-Schlauchblasverfahren	RTM-Verfahren in Verbindung mit Flechtkernen	Pullcurve/ Radius Pultrusion	Braid Mandrel
Part Design	Unterschiedliche Querschnitte entlang des Bauteils		●	●	●	●	●
	Gebogene Bauteile		●	●	●	●	●
	Komplexe 3-D gekrümmte Bauteile		●	●	●	●	●
	Große Bauteillängen (ca. 5 Meter)		●	●	●	●	●
Manufacturing	Kleine Fertigungstoleranzen		●	●	●	●	●
	Hohes Faservolumen		●	●	●	●	●
	Produktion mit UD Faserlagen		●	●	●	●	●
	Hohe Oberflächengüte ohne Nachbehandlung		●	●	●	●	●
	Niedrige Stückzahlen in wirtschaftlichem Rahmen (< 10.000 Stück p.a.)		●	●	●	●	●
	Hohe Stückzahlen in wirtschaftlichem Rahmen (>> 10.000 Stück p.a.)		●	●	●	●	●
	Skalierbarkeit des Verfahrens bzgl. Stückzahlen		●	●	●	●	●
	Verwendung von Inserts		●	●	●	●	●
	Ohne die Verwendung von aufwendigen Kernen		●	●	●	●	●
	Niedrige Aufbaukosten (Set-up-Costs)		●	●	●	●	●
	Niedrige Formkosten		●	●	●	●	●

Abbildung 47: Vergleich von Konkurrenzverfahren mit splineTEX¹⁵¹

Der Vorteil der splineTEX-Technologie gegenüber dem RTM-Schlauchblasverfahren liegt in den sehr niedrigen Formwerkzeugkosten für Prototypen, die im Vergleich zum RTM-Schlauchblasverfahren um den Faktor 10 niedriger sind. Allerdings wird das RTM-Schlauchblasverfahren ohne die Verwendung eines Outliners durchgeführt, wodurch ein leichter Vorteil bei den Materialkosten entsteht. Allerdings kann beim RTM-Schlauchblasverfahren dadurch keine gratfreie Oberfläche ohne erforderliche Nachbehandlung erreicht werden, da sich der Spalt der Formen direkt auf der Bauteiloberfläche abzeichnet.

Mit dem Braid Madrel-Verfahren sind keine großen Bauteillängen realisierbar. Bei diesem Verfahren wird ein konturnaher Kern verwendet, dessen Beflechten mit Fasermaterial sehr aufwendig gegenüber dem der splineTEX-Technologie ist. Hier kann der Flechtprozess kontinuierlich um den Inliner erfolgen. Jedoch kann bei dem Braid Mandrel-Verfahren der konturnahe Kern für die weitere Herstellung von Bauteilen wiederverwendet werden, wohin gegen der In- und Outliner der splineTEX-Technologie aktuell noch als verlorene Form entsorgt werden müssen.

Gegenüber beiden Verfahren besteht durch die Verwendung des Outliners bei der splineTEX-Technologie zudem der Vorteil, dass die auf den Inliner konfektionierten Faserlagen durch den Outliner während der weiteren Bearbeitungsschritte vor eventuellen Beschädigungen und Faserverschiebung geschützt sind.

Das Pultrusionsverfahren hat, gegenüber der splineTEX-Technologie, den entscheidenden Nachteil, dass keine komplex gekrümmten, dreidimensionalen Bauteile hergestellt werden können. Auch sind die Anschaffungskosten für Produktionsanlagen für den

¹⁵¹ In Anlehnung an www.composite-sourcing.com (15.04.2013)

Pultrusionsprozess sehr hoch. Ein Vorteil gegenüber der splineTEX-Technologie ist jedoch, dass mit dem Pultrusionsverfahren Faserverbundbauteile im Endlosverfahren produziert und dadurch hohe Stückzahlen erreicht werden können. Damit kann die Pultrusion als großserientauglich eingestuft werden.

4.3 Überblick der Mitbewerber

Im Kapitel 4.2 wurden einige Verfahren, die der splineTEX-Technologie ähnlich sind, sowie einige anwendende Unternehmen als potentielle Mitbewerber aufgezeigt. Dabei handelt es sich zum Teil, ebenfalls wie superTEX, um Spin-off-Unternehmen, die Faserverbundbauteile für ihre Kunden und Anwender produzieren. Allerdings stellen auch die OEMs verschiedener Branchen, wie z.B. die BMW Group, Faserverbundbauteile her, die dann für die eigene Produktion weiter verwendet werden, wie z.B. für Karosserie des BMW i3. Allerdings können auch Hersteller von geflochtenen Preformbauteilen, wie die Firma Teufelberger, als mögliche Konkurrenten zu splineTEX bzw. Thöni angesehen werden.

In Tabelle 5 ist ein Überblick über einige Unternehmen gegeben, die als potenzielle Mitbewerber gegenüber superTEX bzw. Thöni einzustufen sind.

Tabelle 5: Ausgewählte Mitbewerber

Technologie / Verfahren	Typische Produkte	Einige Firmen / Mitbewerber	Konkurrierende Verfahren
splineTEX	Rohrleitungssysteme, 2D/3D-geformte, längliche Hohlstrukturen	superTEX composites GmbH	RTM-Schlauchblasverfahren, RTM-Verfahren in Kombination mit Flechtkernen, Braid Mandrel-Verfahren, Pullcurve-Verfahren, CNC-Metallrohrbiegen
RTM-Schlauchblasverfahren	Rahmen, Strukturbauteile, Profilleile (Fahrradrahmen, Fahrradbauteile, Modell- und Prototypenbau)	Composite Sourcing Solutions, THM-Carbones, First Composites GmbH, Karl Mayer, AX-Lightness, ZCK Zuschnittcenter und Faserverbundtechnik GmbH&Co.KG, Acute Composites, C2i	splineTEX-Verfahren, RTM-Verfahren in Kombination mit Flechtkernen, Braid Mandrel-Verfahren
RTM-Verfahren in Kombination mit Flechtkernen	Dachträger, Rahmenstrukturen	Diverse OEM's (z.B. BMW i3), Teufelberger, Smart Tooling	splineTEX-Verfahren, RTM-Verfahren in Kombination mit Flechtkernen, Braid Mandrel-Verfahren
Radius-Pultrusion/ Pullcurve	Rahmenprofile, Kabelkanäle, Leitungen, Skistöcke, Rohre, Stäbe	Secar Technology GmbH, Thomas Technik	splineTEX
Braid Mandrel	Fahrräder (BRAID-Bikes), Träger, Rahmen	Munich Composites GmbH	splineTEX, RTM-Schlauchblasverfahren

Für die Produktion von Faserverbundbauteilen gibt es zahlreiche kleine Unternehmen. Tabelle 4 zeigt lediglich eine kleine Auswahl an produzierenden Firmen, die ähnliche Bauteile wie die Firma superTEX herstellen.

4.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse für splineTEX

In diesem Kapitel erfolgt zunächst eine Materialkostenanalyse für ausgewählte splineTEX-Anwendungen, die als Grundlage für die weitere Wirtschaftlichkeitsanalyse dient. Die Kostenberechnung basiert dabei auf den Preisen, die aus Anfragen bei den einzelnen Lieferanten hervorgehen.

In der weiteren Wirtschaftlichkeitsanalyse erfolgt aufgrund der Ähnlichkeit der Verfahren ein direkter Vergleich der splineTEX-Technologie mit dem RTM-Schlauchblasverfahren. Das Ziel dieses Vergleichs ist eine stückzahlabhängige Wirtschaftlichkeitsbetrachtung beider Verfahren.

4.4.1 Analyse der Materialkosten für splineTEX - Strukturelemente

Für den PVC-Schlauch (In- und Outliner) wurde aus den Laufmeterpreisen der Hersteller ein einheitlicher Kilogrammpreis, unabhängig von Durchmesser und Wandstärke, ermittelt. Dafür wurden verschiedene Angebote für unterschiedliche Durchmesser und Wandstärken mit einander verglichen und anhand der Dichte und des Volumens auf den Kilogrammpreis umgerechnet. Dabei hat sich gezeigt, dass der Preis für ein Kilogramm PVC-Schlauch, trotz unterschiedlicher Durchmesser und Wandstärken, für eine definierte Abnahmemenge nahezu identisch ist. Daher kann mit einem einheitlichen Kilogrammpreis für den In- und Outliner aus PVC gerechnet werden. Für die Berechnung wurde eine Dichte für PVC von $1,35 \text{ g/cm}^3$ verwendet.

Ebenso wurde für einen Aluminiuminliner, basierend auf einem Mindestpresslos von 500 kg, ein einheitlicher Kilogrammpreis angenommen (ohne Berücksichtigung der Werkzeugkosten). Um das Gewicht zu berechnen, wurde eine Dichte für Aluminium von $2,7 \text{ g/cm}^3$ verwendet.

Die Kosten für die aktuell verwendeten Epoxidharzsysteme werden ebenfalls in Euro/Kilogramm angegeben. Dafür wurde zur Berechnung eine Dichte von $1,16 \text{ g/cm}^3$ verwendet.

Aufgrund der extrem unterschiedlichen Kilogrammpreise für die Geflechschläuche, die stark vom jeweiligen Geflechtaufbau abhängig sind, wird für die folgenden Berechnungen ein mittlerer Kilogrammpreis der gängigsten Geflechschläuche der Firma Barthels-Feldhoff verwendet. Der Berechnung der Masse liegt ein Faservolumenverhältnis von 50% zu Grunde.

Für die Fließhilfe wurde auf eine Umrechnung in Euro/Kilogramm verzichtet, da es sich nur um eine Lage handelt. Je nach Bauteillänge kann in der Serienproduktion der splineTEX-Technologie nach dem RTM-Verfahren ggf. auf die Fließhilfe verzichtet werden.

Tabelle 6 gibt einen Überblick über die mittleren Materialkosten, die für die weiteren Analysen verwendet wurden.

Tabelle 6: Übersicht der spezifischen Materialkosten für weitere Analysen

Material	Typ	Kosten	Basierend auf einer Abnahmemenge
Inliner	PVC-Schlauch Rauclair E	4,06 €/kg	1.000 Lfm.
	Aluminiumrohr Thöni Industriebetriebe GmbH	3,19 €/kg	500 kg
Matrix	Epoxydharzsysteme / Fa. Sika	9,70 €/kg	
Faserlagen	Barthels Feldhoff Toray FT300-3K-50A, Filamentanzahl 3K, Garnstärke 2000 dtex, Fadenanzahl 96 Breite von 54 mm bei 45 Grad Flechtwinkel	86,40 €/kg	1.000 Lfm.
Fließhilfe (optional)	Techflex Typ PT0.50 (11,1 bis 34,9 mm)	1,29 €/Lfm.	1.000 Lfm.
Outliner	PVC-Schlauch Rauclair E	4,06 €/kg	

Ausgehend von den spezifischen Materialkosten aus Tabelle 6 erfolgt im Weiteren die Berechnung der Materialkosten für splineTEX charakteristische Bauteilgeometrien, wie sie in Tabelle 7 dargestellt sind. Die Materialkostenberechnung erfolgt dabei für ein angenommenes Faservolumenverhältnis von 50%.

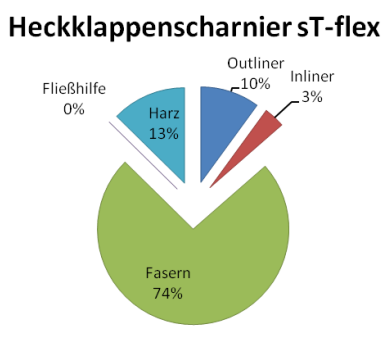
Tabelle 7: Ausgewählte Projekte

Produkt / Projekt	Heckklappen-scharnier		Kühlwasser-leitung	Struktur-element für Golf-Caddy	Ruder-Paddel
					
Typ	sT-flex	sT-plast	sT-flex	sT-plast	sT-flex
Wandstärke Outliner:	5 mm	5 mm	4 mm	3 mm	3 mm
Außendurchmesser CFK:	40 mm	40 mm	32 mm	30 mm	28 mm
Wandstärke CFK:	5,2 mm	5,2 mm	2 mm	3 mm	2 mm
Wandstärke Inliner:	3 mm	1,5 mm	3 mm	2 mm	2 mm
Fließhilfe:	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja
Bauteillänge:	600 mm		2000 mm	1200 mm	2200 mm
Längen / Durchmesser Verhältnis	15		15	40	80
Biegeverhältnis R/D	2,5		2,5	>3	>3

Materialkostenberechnung für ausgewählte Projekte:

Für das Heckklappenscharnier kommen zwei Ausführungen in Betracht, zum einen die Variante als sT-flex, zum anderen die sT-plast-Variante. In Tabelle 8 ist die Materialkostenberechnung und Materialkostenzusammensetzung für den sT-flex dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass der Inliner aus PVC besteht.

Tabelle 8: Materialkostenzusammensetzung für Heckklappenscharnier sT-flex

Outliner:	3,87 €/Lfm.	<div style="text-align: center;"> <h4>Heckklappenscharnier sT-flex</h4>  <p>Fließhilfe 0% Harz 13% Outliner 10% Inliner 3% Fasern 74%</p> </div>
Inliner:	1,37 €/Lfm.	
Fasern:	28,49 €/Lfm.	
Fließhilfe:	0,00 €/Lfm.	
Harz:	4,88 €/Lfm.	
MK €/Lfm.	38,61 €/Lfm.	
MK €/Stück (600 mm)	23,17 €/Stück	

Für die sT-plast-Variante des Heckklappenscharniers wird ein Aluminiumliner verwendet. Die Materialkostenberechnung und -zusammensetzung wird in Tabelle 9 aufgezeigt.

Tabelle 9: Materialkostenzusammensetzung für Heckklappenscharnier sT-plast

Outliner:	3,87 €/Lfm.	<p>Heckklappenscharnier sT-plast</p> <p>Fließhilfe 0% Harz 13% Outliner 10% Inliner 2% Fasern 75%</p>
Inliner:	1,14 €/Lfm.	
Fasern:	28,49 €/Lfm.	
Fließhilfe:	0,00 €/Lfm.	
Harz:	4,88 €/Lfm.	
MK €/Lfm.	38,38 €/Lfm.	
MK €/Stück (600 mm)	23,03 €/Stück	

Für die Herstellung einer Kühlwasserleitung, hergestellt mit der sT-flex-Variante der splineTEX-Technologie, ist die Materialkostenberechnung und -zusammensetzung in Tabelle 10 dargestellt. Für derartige Bauteile wird aufgrund der Bauteillänge eine Flechtlage Fließhilfe in den Preformaufbau einbezogen.

Tabelle 10: Materialkostenzusammensetzung für Kühlwasserleitung sT-flex

Outliner:	2,48 €/Lfm.	<p>Kühlwasserleitungen sT-flex</p> <p>Harz 10% Outliner 15% Inliner 8% Fasern 59% Fließhilfe 8%</p>
Inliner:	1,29 €/Lfm.	
Fasern:	9,45 €/Lfm.	
Fließhilfe:	1,29 €/Lfm.	
Harz:	1,62 €/Lfm.	
MK €/Lfm.	16,13 €/Lfm.	
MK €/Stück (2000 mm)	32,26 €/Stück	

Das Strukturelement für einen Golf-Caddy wird mit der sT-plast-Variante der splineTEX-Technologie hergestellt. Die Materialkostenberechnung und -zusammensetzung ist in Tabelle 11 dargestellt.

Tabelle 11: Materialkostenzusammensetzung für Strukturelement Golf-Caddy sT-plast

Outliner:	1,70 €/Lfm.	<p>Strukturelement Golf-Caddy sT-plast</p> <p>Fließhilfe 0% Harz 13% Outliner 10% Inliner 4% Fasern 73%</p>
Inliner:	1,19 €/Lfm.	
Fasern:	12,75 €/Lfm.	
Fließhilfe:	0,00 €/Lfm.	
Harz:	2,18 €/Lfm.	
MK €/Lfm.	17,82 €/Lfm.	
MK €/Stück (1200 mm)	21,38 €/Stück	

Für ein Ruder-Paddel, dessen Schaft mit der sT-flex-Variante der splineTEX-Technologie hergestellt wird, ergibt sich folgende Materialkostenberechnung und –zusammensetzung, die in Tabelle 12 abgebildet ist.

Tabelle 12: Materialkostenzusammensetzung für Ruder-Paddel sT-flex

Outliner:	1,70 €/Lfm.	<p>Ruder-Paddel sT-flex</p> <p>Fließhilfe 10% Harz 10% Outliner 12% Inliner 6% Fasern 62%</p>
Inliner:	0,76 €/Lfm.	
Fasern:	8,19 €/Lfm.	
Fließhilfe:	1,29 €/Lfm.	
Harz:	1,40 €/Lfm.	
MK €/Lfm.	13,34 €/Lfm.	
MK €/Stück (2200 mm)	29,35 €/Stück	

Analyse der Materialkosten für ein CFK-Heckklappenscharnier:

Generell ist es möglich, ein Heckklappenscharnier aus CFK anhand verschiedener Verfahren, wie sie in Kapitel 4.2 erläutert wurden, herzustellen. Wie in Tabelle 7 dargestellt, gibt es zwei verschiedene Varianten, mit denen ein CFK-Heckklappenscharnier mit der splineTEX-Technologie hergestellt werden kann, zum einen als sT-flex-Variante, zum andern in der Variante des sT-plast. In Abbildung 48 ist der direkte Materialkostenvergleich beider Varianten dargestellt.

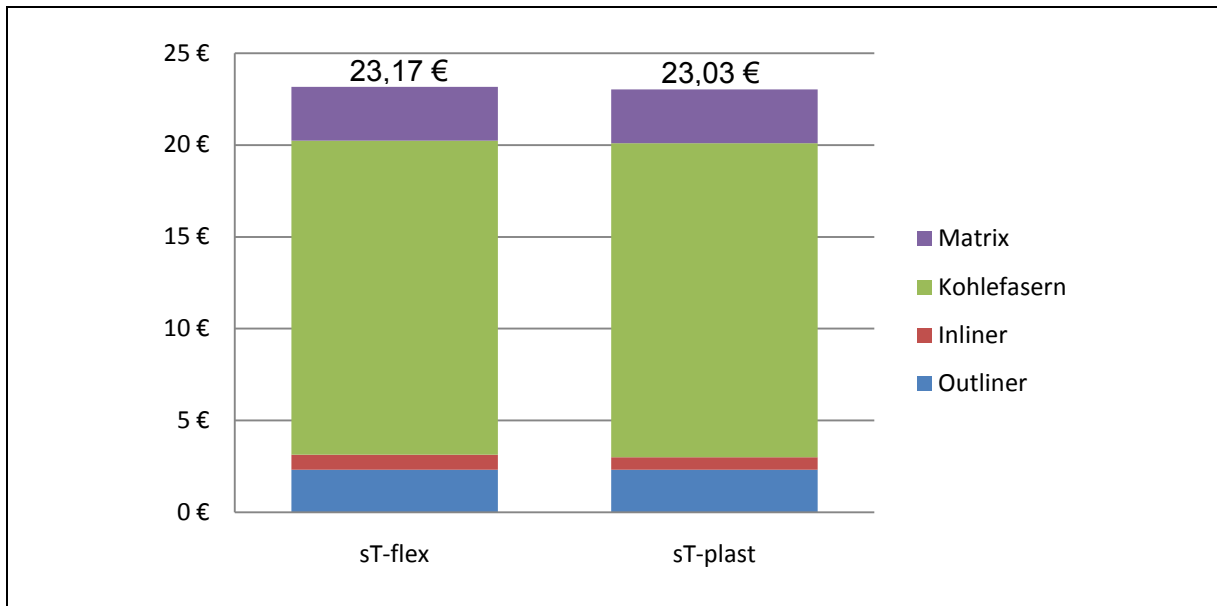


Abbildung 48: Materialkostendifferenz sT-flex / sT-plast am Bsp. Heckklappenscharnier

Es wird deutlich, dass sich die beiden Varianten lediglich in den Kosten für den Inliner unterscheiden. Da für die sT-plast-Variante, deren Materialkosten 23,03 Euro pro Stück betragen, ein Aluminium-Inliner geringerer Wandstärke verwendet wird, entsteht hier ein Kostenvorteil gegenüber der sT-flex-Variante, deren Materialkosten 23,17 Euro pro Stück betragen. Aber auch die Wandstärke des Outliners bedeutet eine erhebliche Kostenvarianz. In Abbildung 49 ist für das Heckklappenscharnier in der sT-flex-Variante der Unterschied der Verwendung eines Outliners mit 5mm Wandstärke, gegenüber einem Outliner mit 1mm Wandstärke, dargestellt. Aktuell wird ein 5mm Outliner verwendet, um optimalen Bauteilschutz während des Herstellprozesses zu gewährleisten.

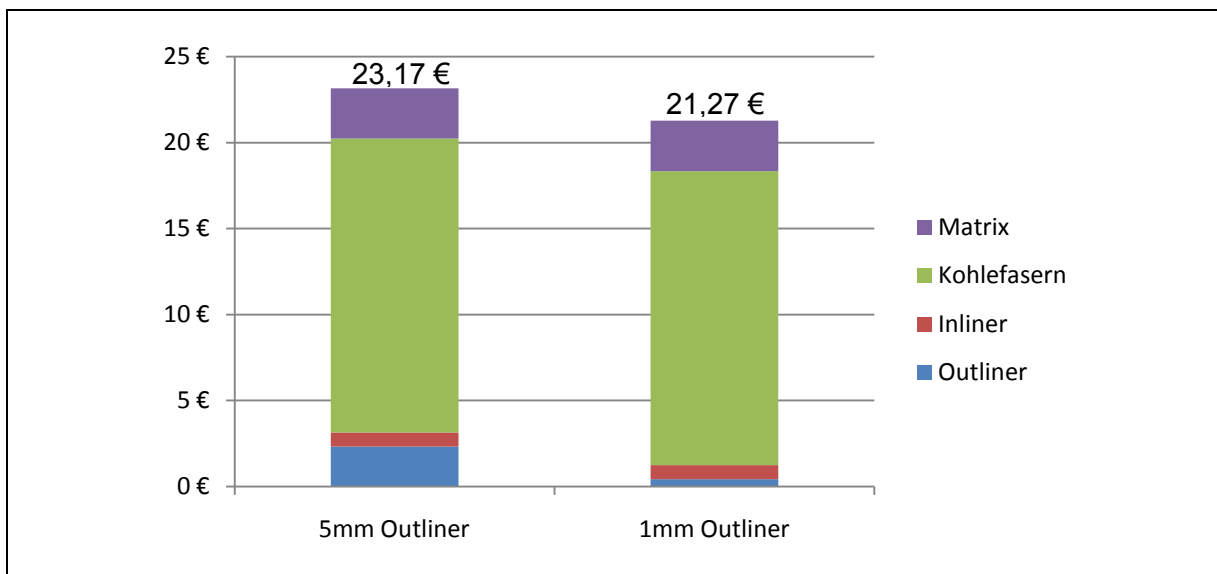


Abbildung 49: Kostenvorteil durch Reduzierung der Outlinerwandstärke

Es ist deutlich erkennbar, dass eine Reduzierung der Outlinerwandstärke auf einen Millimeter einen erheblichen Kostenvorteil gegenüber einer Outlinerwandstärke von fünf Millimetern führt. Im Fall des Heckklappenscharniers in der sT-flex-Variante bedeutet dies eine Verringerung der Materialkosten von 23,17 €/Stück auf 21,27 €/Stück, was etwa 8,2% entspricht. Wie bereits erwähnt, dient der Outliner zum einen als Form während des Herstellprozesses und zum anderen als Schutz für das Bauteil. Für einige Verfahren, wie z.B. das CNC-Biegen bei der Herstellung von Bauteilen mittels des sT-plast, wird ein verhältnismäßig dicker Outliner (5mm) benötigt, um Schäden am Bauteil während des Umformprozesses zu verhindern, die ohne Outliner entstehen würden.

Der Outliner bedeutet für die splineTEX-Technologie ein Zusatzmaterial, dass bei der Herstellung von Faserverbundbauteilen mittels RTM-Schlauchblasverfahren nicht entsteht, da hierbei kein Outlinersystem verwendet wird. Im Folgenden wird ein Vergleich der Materialkosten der splineTEX-Technologie gegenüber dem RTM-Schlauchblasverfahren aufgezeigt. Da sich die beiden Verfahren in der Verwendung der Materialien nicht wesentlich unterscheiden, wird angenommen, dass der Blasschlauch, der beim RTM-Schlauchblasverfahren als Inliner verwendet wird, einem 0,5 mm dicken PVC-Schlauch entspricht.

In Abbildung 50 ist der Materialkostenvergleich der sT-flex-Variante des Heckklappenscharniers mit den Materialkosten für ein Heckklappenscharnier, hergestellt mit dem RTM-Schlauchblasverfahren, dargestellt.

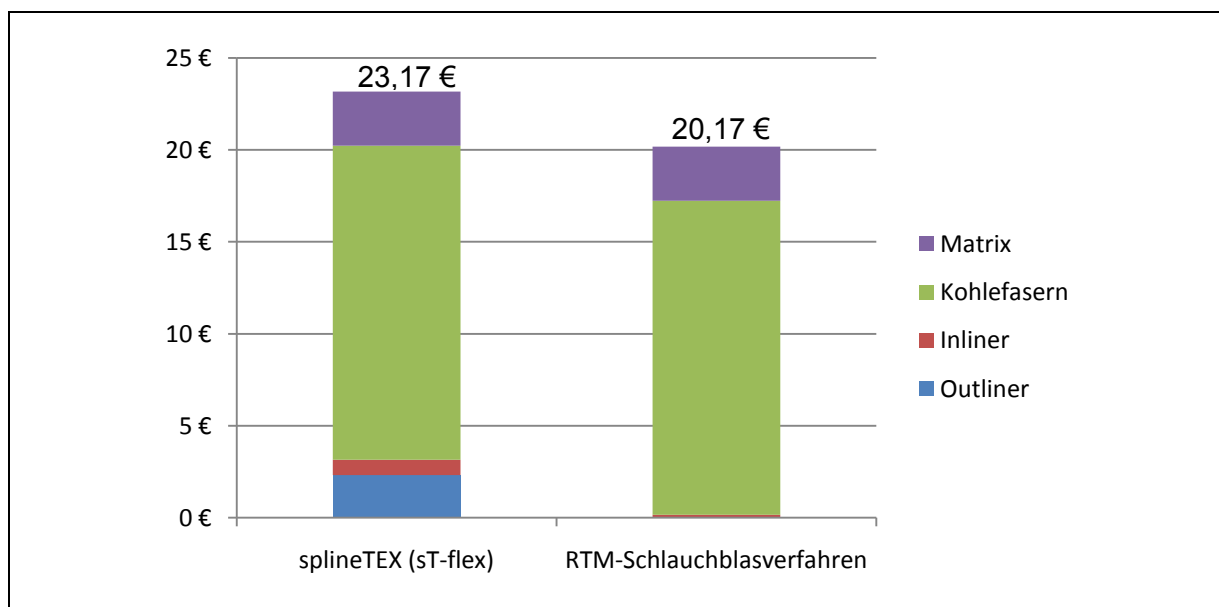


Abbildung 50: Materialkostenunterschied splineTEX/RTM-Schlauchblasverfahren¹⁵²

¹⁵² Auf Basis eines CFK-Heckklappenscharniers

Durch die Herstellung ohne Outliner bei gleichzeitiger Verringerung der Wandstärke des Inliners mit dem RTM-Schlauchblasverfahren, reduzieren sich die Materialkosten für ein CFK-Heckklappenscharnier gegenüber der sT-flex-Variante von 23,17 €/Stück auf 20,17 €/Stück, was etwa 12,9% entspricht.

4.4.2 Wirtschaftlichkeitsvergleich mit RTM - Schlauchblasverfahren

Im Wirtschaftlichkeitsvergleich der splineTEX-Technologie mit dem RTM-Schlauchblasverfahren erfolgt in dieser Arbeit eine grobe Betrachtung der Herstellkostendifferenz beider Verfahren. Eine detaillierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, für die eine umfassende Analyse der Fertigungsprozesse unverzichtbar ist, würde den Rahmen dieser Arbeit deutlich überschreiten. Aus diesem Grund wird hier ein pragmatischer Ansatz gewählt, um einen groben Vergleich zwischen dem splineTEX-Verfahren und dem RTM-Schlauchblasverfahren zu ermöglichen.

Der Vergleich der Herstellkosten beider Verfahren erfolgt hier exemplarisch für folgende zwei Produkte:

- Heckklappenscharnier in sT-flex und sT-plast Ausführung
- Kühlwasserleitung in sT-flex Ausführung

Die Materialkosten werden sowohl für splineTEX, als auch für das RTM-Schlauchblasverfahren mit den in Tabelle 6 zugrundeliegenden spezifischen Materialkosten berechnet. Dabei wird, wie bereits erwähnt, angenommen, dass die Kosten für den Blasschlauch, der für den Herstellungsprozess des RTM-Schlauchblasverfahrens benötigt wird, den eines 0,5 mm starken PVC-Inliners entsprechen. Außerdem werden stückzahlunabhängige Materialkosten zugrunde gelegt. Auf Abbildung 51 werden die Materialkosten der beiden Verfahren für das Heckklappenscharnier in den Varianten des sT-flex und des sT-plast miteinander verglichen.

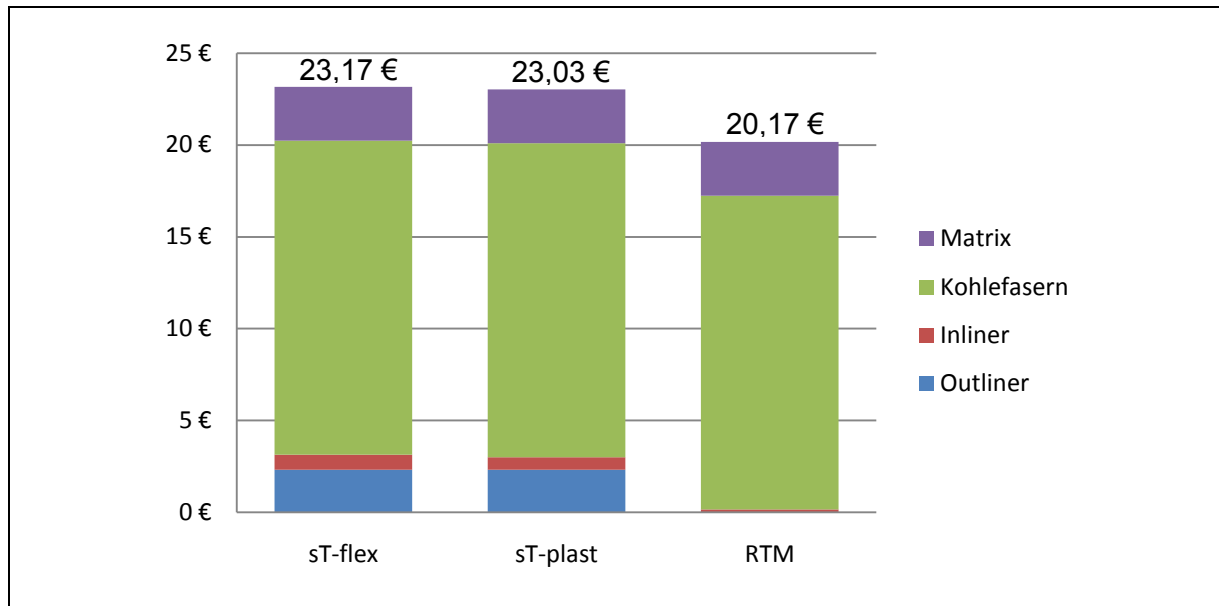


Abbildung 51: Materialkostenvergleich Heckklappenscharnier splineTEX/RTM

Für die sT-flex-Variante betragen die Materialkosten 23,17 Euro pro Stück, für die sT-plast-Variante 23,03 Euro pro Stück. Wird das Heckklappenscharnier mit dem RTM-Schlauchblasverfahren hergestellt, betragen die Materialkosten aufgrund des fehlenden Outliners und des dünneren Inliners 20,17 Euro pro Stück.

Der Materialkostenvergleich für die Kühlwasserleitung ist auf Abbildung 52 dargestellt.

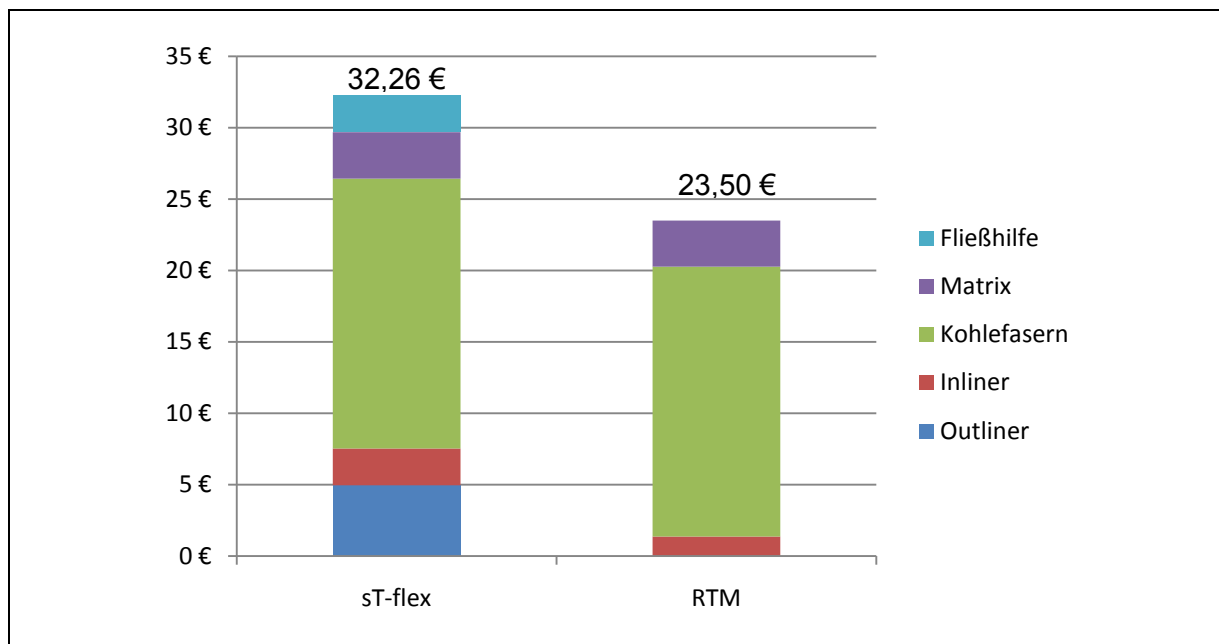


Abbildung 52: Materialkostenvergleich Kühlwasserleitung splineTEX/RTM

Die Materialkosten für Kühlwasserleitungen, hergestellt mit der splineTEX-Technologie in der sT-flex-Variante, betragen 32,26 Euro pro Stück. Hergestellt mit dem RTM-Schlauchblasverfahren betragen die Materialkosten aufgrund des fehlenden Outliners, der fehlenden Fließhilfe sowie des dünneren Inliners 23,50 Euro pro Stück.

In Tabelle 13 sind die Fertigungskosten für das splineTEX-Verfahren und für das RTM-Schlauchblasverfahren dargestellt. Für das Heckklappenscharnier wird sowohl für den sT-flex als auch für das RTM-Schlauchblasverfahren eine Zykluszeit von 20 Minuten angenommen. Bei der Produktion des sT-plast sind die beiden Prozessschritte, Formgebung und Aushärtung, entkoppelt. Damit wird die Zykluszeit in erster Linie von der CNC-Rohrbiegemaschine bestimmt. Für den sT-plast wird eine Zykluszeit von 5 Minuten angenommen.

Für das RTM-Schlauchblasverfahren werden Formwerkzeugkosten angesetzt, die um den Faktor 10 höher sind als bei der splineTEX-Technologie. Außerdem wird berücksichtigt, dass bei kleineren Stückzahlen kostengünstigere Formwerkzeuge verwendet werden können. Die Anzahl der erforderlichen Formwerkzeuge errechnet sich über die erforderliche Zykluszeit.

Tabelle 13: Vergleich Fertigung splineTEX / RTM-Schlauchblasverfahren

Produkt / Projekt	Heckklappenscharnier			Kühlwasserleitung	
	sT-flex	sT-plast	RTM	sT-flex	RTM
Wandstärke Outliner:	5 mm	5 mm	0 mm	4 mm	0 mm
Außendurchmesser CFK:	40 mm	40 mm	40 mm	32 mm	32 mm
Wandstärke CFK:	5,2 mm	5,2 mm	5,2 mm	2 mm	2 mm
Wandstärke Inliner:	3 mm	1,5 mm	0,5 mm	3 mm	0,5 mm
Fließhilfe:	Nein	Nein	Nein	Ja	Nein
Bauteillänge:	0,60 m			2 m	
Zykluszeiten geschätzt:	20 min.	5 min.	20 min.	20 min.	20 min.
Referenz	100%	70%	100%	100%	100%
Formwerkzeugkosten geschätzt, je nach Seriengröße, 1-100 Stück	500€	0€ (falls Biegewerkzeuge vorhanden)	5.000€	4.000€	40.000€
100-5000 Stück	1.500€		75.000€	8.000€	60.000€
5000- 50.000 Stück	3.000€		11.250€	15.000€	90.000€
Materialkosten	23,17€	23,03€	20,17€	32,26€	23,50€
Fertigungskosten (exkl. Werkzeugkosten)	27€	21€	30€	27€	30€
Herstellkosten	50,17€	44,03€	50,17€	59,26€	53,50€

Für die Berechnung der Herstellkostendifferenz müssen nicht die exakten Fertigungskosten der einzelnen Verfahren herangezogen werden. Es ist ausreichend, mit referenzierten Fertigungskosten, z.B. im Fall des Heckklappenscharniers, bei dem die Fertigungskosten der sT-plast-Variante 70% von den Fertigungskosten der sT-flex-Variante ausmachen. Die angegebenen Fertigungskosten von 30 Euro pro Stück für das RTM-Schlauchblasverfahren dienen hierbei lediglich als Basiswert. Für die sT-flex-Variante wurden Fertigungskosten angesetzt, die 10% unter denen des RTM-Schlauchblasverfahrens liegen, da bei der Herstellung des sT-flex keine Nachbearbeitungsschritte anfallen. Die Herstellkostendifferenz wird wie folgt berechnet (siehe Formel 1).

Formel 1: Herstellkostendifferenz

$$\text{Herstellkostendifferenz } \Delta HK = \frac{\text{Herstellkosten RTM} - \text{Herstellkosten splineTEX}}{\text{Herstellkosten splineTEX}}$$

In Abbildung 53 ist die Herstellkostendifferenz zwischen der splineTEX-Technologie und dem RTM-Schlauchblasverfahren das Heckklappenscharnier in sT-flex- und sT-plast-Ausführung sowie für Kühlwasserleitungen in der sT-flex-Variante für Stückzahlen bis 5.000 Stück pro Jahr dargestellt. Für den Bereich über null Prozent ist die splineTEX-Technologie günstiger als das RTM-Schlauchblasverfahren. Aus dem Kurvenverlauf geht hervor, dass die Herstellkosten für Bauteile, hergestellt mit der splineTEX-Technologie, bis zu einer Stückzahl von 1.000 Stück, deutlich unter den Herstellkosten des RTM-Schlauchblasverfahrens liegen. Erst ab einer Stückzahl von 1.000 Stück pro Jahr, nähern sich die Herstellkosten für ein Heckklappenscharnier den Kosten des RTM-Schlauchblasverfahrens an. Dabei ist anzumerken, dass die Variante des sT-plast auch für hohe Stückzahlen bis 50.000 Stück pro Jahr niedrigere Herstellkosten als die sT-flex-Variante aufweist. Für die Kühlwasserleitungen erfolgt eine Annäherung der Herstellkosten erst ab 2.000 Stück pro Jahr. Allerdings ist anzunehmen, dass die Stückzahlen von CFK-Kühlwasserleitungen eine Seriengröße von 1.000 Stück pro Jahr nicht übersteigen, da derartige Bauteile lediglich für Fahrzeuge der Luxusklasse eingesetzt werden.

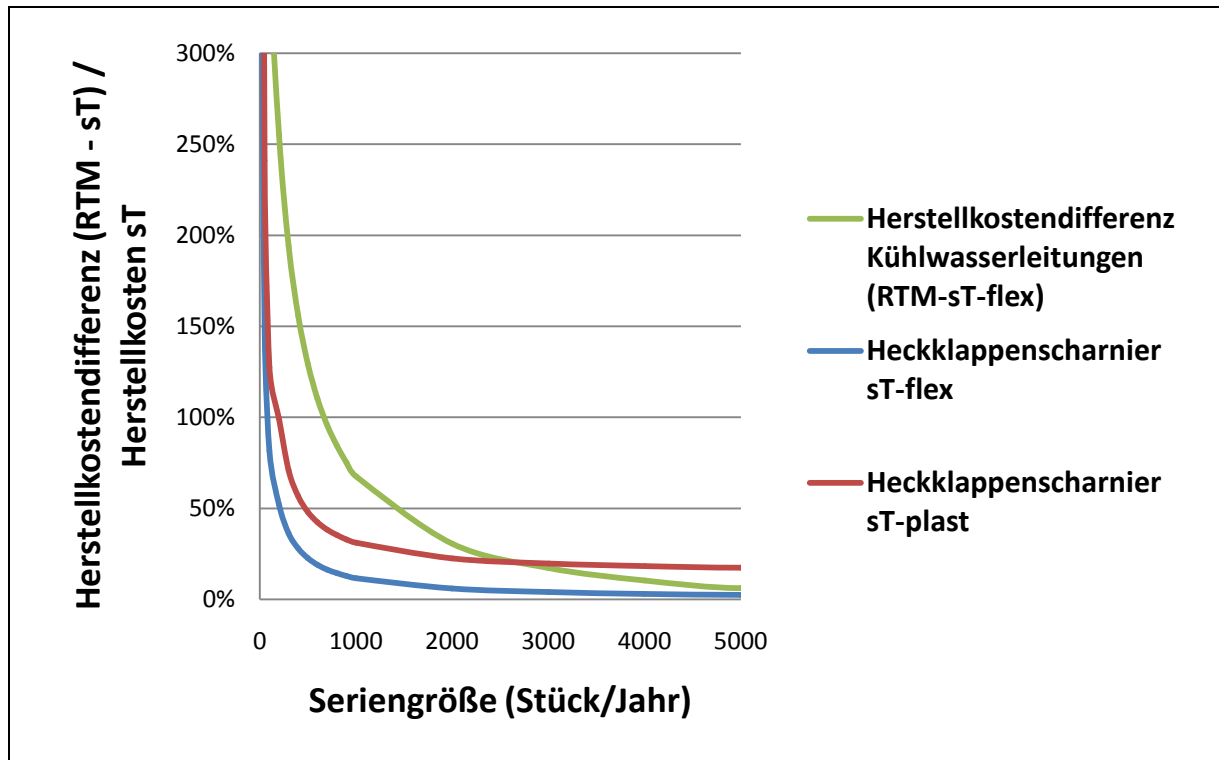


Abbildung 53: Herstellkostendifferenz für Stückzahlen bis 5.000 Stück/Jahr

In Abbildung 54 ist der Verlauf der Herstellkostendifferenz bis zu einer Stückzahl von 50.000 Stück pro Jahr dargestellt. Aufgrund der höheren Materialkosten der splineTEX-Technologie, verursacht durch den Outliner, liegen die Herstellkosten für Kühlwasserleitungen, ab einer Jahresstückzahl von 10.000 Stück teilweise über den Herstellkosten des RTM-Schlauchblasverfahrens.

Die Herstellkosten für die sT-flex-Variante des Heckklappenscharniers liegen bis zu einer Stückzahl von 50.000 Stück pro Jahr um etwa 3% unter den Herstellkosten des RTM-Schlauchblasverfahrens.

Die sT-plas-Variante des Heckklappenscharniers liegen knapp 20% unter den Herstellkosten des RTM-Schlauchblasverfahrens, auch für hohe Stückzahlbereiche bis 50.000 Stück pro Jahr. Dies resultiert aus den vergleichsweise niedrigen relativen Fertigungskosten sowie aus den nicht vorhandenen Formwerkzeugkosten.

Der sprunghafte Kurvenverlauf ist auf die sprunghaften Kosten für das Formwerkzeug zurückzuführen, da ab einer bestimmten Jahresstückzahl weitere Formen benötigt werden. Da es sich bei den Kühlwasserleitungen um Bauteile von zwei Metern Länge handelt, wofür vergleichsweise teure und aufwendige Formen für die Produktion benötigt werden, ist ein vergleichsweise größerer Sprung der sprunghaften Kosten erkennbar, als für die Herstellung des Heckklappenscharniers.

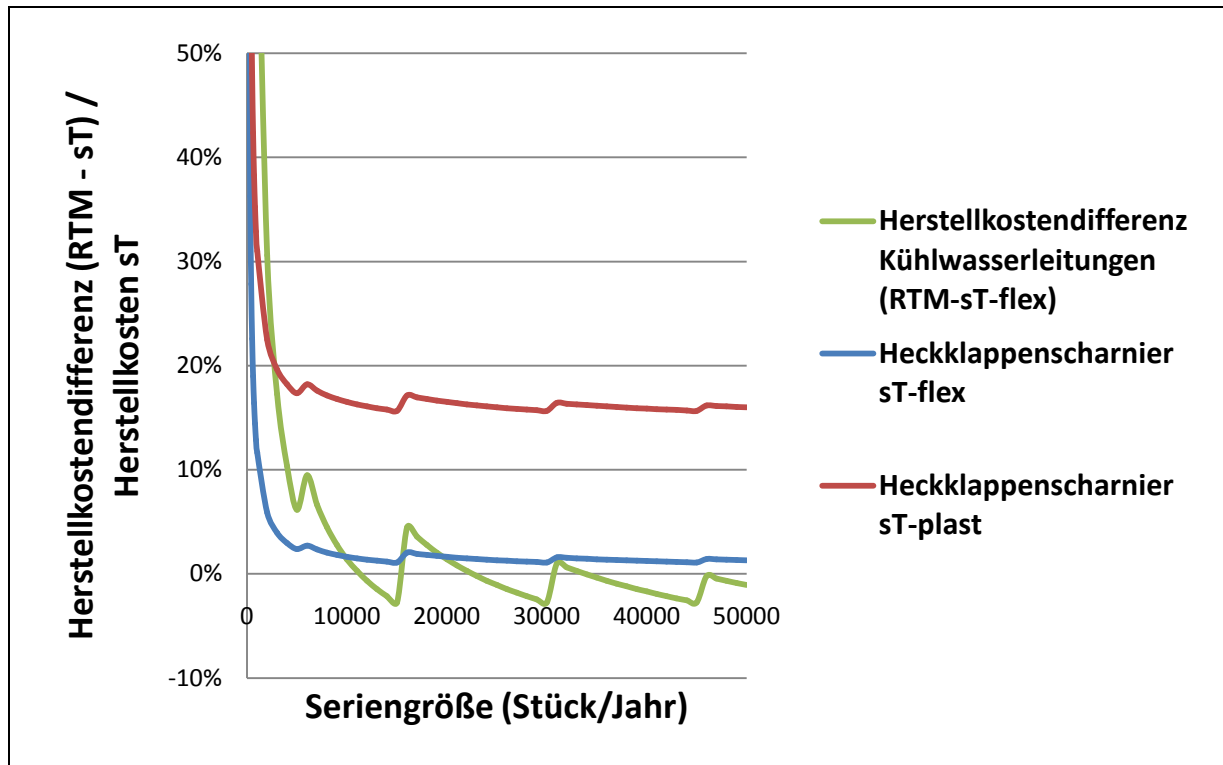


Abbildung 54: Herstellkostendifferenz für Stückzahlen bis 50.000 Stück/Jahr

Generell ist aus den grafischen Verläufen der Herstellkosten erkennbar, dass die splineTEX-Technologie besonders für Stückzahlen im Prototypenbereich (bis 1.000 Stück pro Jahr) einen deutlichen Herstellkostenvorteil gegenüber dem RTM-Schlauchblasverfahren bietet.

4.4.3 Ableiten von Handlungsempfehlungen

In Abbildung 49 wurde eine Materialkostenreduzierung für den sT-flex von 8,2% aufgezeigt, sofern der Outliner von 5mm auf 1mm Wandstärke reduziert wird. Somit ist es denkbar, das splineTEX-Verfahren so weiterzuentwickeln, dass eventuell die Verwendung einer Folie als Outliner für die Produktion ausreicht, um mit dem RTM-Schlauchblasverfahren hinsichtlich der Materialkosten konkurrenzfähig zu werden. Die Formgebung wäre dann jedoch nur in einer komplett geschlossenen Negativform möglich.¹⁵³

Aktuell beträgt der Materialkostenvorteil des RTM-Schlauchblasverfahrens etwa 12,9% gegenüber der splineTEX-Technologie, wie in Abbildung 50 dargestellt ist.

In Abbildung 53 und Abbildung 54 wurde die Herstellkostendifferenz zwischen dem RTM-Schlauchblasverfahren und dem splineTEX-Verfahren für ein CFK-Heckklappenscharnier und für eine CFK-Kühlwasserleitung aufgezeigt. Es ist deutlich erkennbar, dass die Produktion von Heckklappenscharnieren mit der sT-plast-Variante der splineTEX-Technologie einen Herstellkostenvorteil von knapp 20% gegenüber dem RTM-Schlauchblasverfahren bietet, auch für hohe Stückzahlen bis 50.000 Stück pro Jahr. Für die

¹⁵³ Siehe Kapitel 4.1.1

sT-flex-Variante hingegen stellen sich ab einer Stückzahl von 2.000 pro Jahr minimal höhere Herstellkosten von knapp 5% über den Herstellkosten des RTM-Schlauchblasverfahrens ein. Die Herstellkosten der Kühlwasserleitungen, hergestellt mit dem splineTEX-Verfahren, liegen ab einer Stückzahl von 10.000 Stück pro Jahr leicht über den Herstellkosten des RTM-Schlauchblasverfahrens.

Generell bietet das splineTEX-Verfahren einen deutlichen Herstellkostenvorsprung gegenüber dem RTM-Schlauchblasverfahren für die Produktion von Prototypen und Kleinserien.

5 Marktanalyse für die splineTEX - Technologie

Bei der splineTEX-Technologie handelt es sich um eine klassische Technology-Push-Innovation. Da für derartige Produkte noch keine Nachfrage auf den entsprechenden Märkten besteht, muss aktiv nach potenziellen Kunden sowie geeigneten Anwendungsbereichen gesucht werden. In dieser Arbeit liegt der Fokus für potenzielle Anwendungen für die splineTEX-Technologie auf dem Automotive- sowie dem Sportartikel-Sektor.

Wie für Technology-Push-Innovationen üblich, wurde für die Analyse und Auswahl geeigneter Anwendungen für splineTEX eine Reihe von Experteninterviews mit Fachleuten aus den Bereichen Luftfahrt, Leichtbau, Automobilbau, Werkstoffkunde u.a. durchgeführt. Des Weiteren wurden in einer internen Expertenrunde technologische Bewertungskriterien definiert, mit denen das technologische Risiko für diverse Anwendungen sowie das Potenzial, für eine Realisierung mit der splineTEX-Technologie, abgeschätzt wurden. Durch die Auswertung von Gesprächsprotokollen, die auf vergangenen Messen erstellt wurden, auf denen die splineTEX-Technologie präsentiert und vorgestellt wurde, wurden konkrete Projektanfragen analysiert, um daraus eine engere Auswahl an potenzielle Kunden und Anwendungen zu forcieren. Im Zuge eines Messeauftritts auf der JEC Composite Europe 2013¹⁵⁴ in Paris, eine der weltweit führenden Fachmessen der Verbundwerkstoffindustrie, wurden für diese Arbeit Gespräche mit aktuellen und potentiellen Kunden geführt.

Für die konkrete Analyse des Automotive- und des Sportartikelsektors werden aktuelle und potenzielle Projektpartner und Produkte näher betrachtet. Aus sämtlichen in dieser Arbeit erhobenen Daten, Analysen sowie internen und externen Einschätzungen wird abschließend ein Marktpotenzial für die splineTEX-Technologie abgeleitet. Abschließend wird eine Empfehlung an die Firma Thöni für eine mögliche Wettbewerbs- und Markteintrittsstrategie gegeben.

5.1 Generelle Analyse von Anwendungsbereichen

Um einen Überblick über mögliche Anwendungsbereiche für die splineTEX-Technologie zu erhalten, wurden die Anfragen von Interessenten, die auf den vergangenen Messeauftritten an die Mitarbeiter der Firma superTEX herangetreten sind, ausgewertet und analysiert. In Abbildung 55 ist die Verteilung der Messekontakte und -anfragen dargestellt. Insgesamt gab es ca. 350 - 400 Gespräche mit Firmenvertretern aus den unterschiedlichsten Branchen, die an der splineTEX-Technologie und möglichen Anwendungen interessiert sind. Daraus haben sich etwa 60 erstzunehmende und weiterzuverfolgende Kontakte herauskristallisiert. Für eine weitere Zusammenarbeit und konkrete Projekte konnten knapp 20 Projektpartner akquiriert werden, wie ebenfalls in Abbildung 55 dargestellt ist.

Die etwa 60 konkreten Kontakte wurden in sechs Bereiche eingeteilt, wie in Abbildung 56 dargestellt ist. Dabei wurden die beiden industriellen Bereiche, Automotive und Luft- und

¹⁵⁴ Informationen zur Messe unter www.jeccomposites.com

Raumfahrt noch weiter in die Unterkategorien Strukturbauteile, Rohrsysteme sowie Hebel eingeteilt.

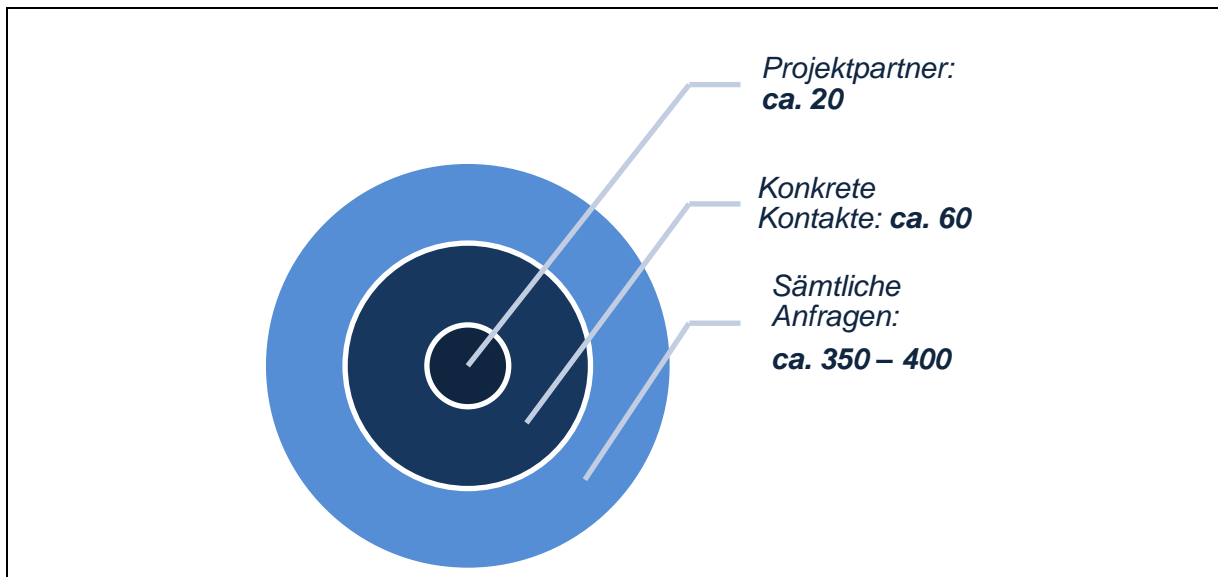


Abbildung 55: Anzahl der Messekontakte¹⁵⁵

Zu den weiteren Bereichen, für die splineTEX als potenzielle Anwendung in Betracht gezogen werden kann, zählen die Windenergie, der Sportbereich, der medizinische Bereich sowie die Bereiche Architektur und Design.

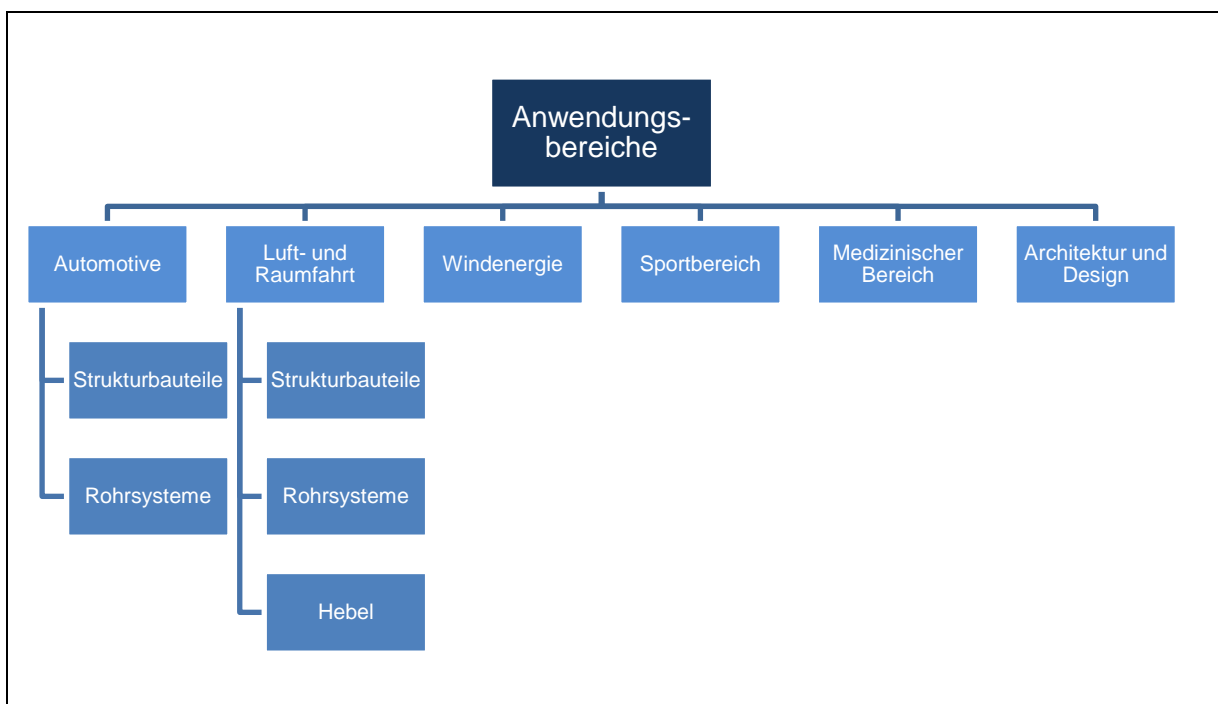


Abbildung 56: Anwendungsbereiche für die splineTEX-Technologie¹⁵⁶

¹⁵⁵ Eigene Darstellung, ermittelt aus Messeprotokollen Firma superTEX

In Abbildung 57 ist die prozentuale Verteilung aller Anfragen dargestellt. Es wird deutlich, dass fast die Hälfte der Anfragen aus dem Bereich Automotive stammt. Als mögliche Anwendung ist splineTEX, im Bereich der Rahmenstrukturen, im Speziellen als Heckklappenscharnier, als Gitterrohrrahmen für Motorräder sowie als Haltegriffe für Bus und Bahn denkbar. Für den Bereich Luft- und Raumfahrt gab es Anfragen für Flugzeugkabineninterieur, Installationsleitungsrohre sowie einen Stuhl für die Flugzeugtreppe, mit dem gehbehinderten Personen das Ein- und Aussteigen erleichtert werden soll. Im Bereich Architektur und Design gab es unter anderem Anfragen für den Einsatz von splineTEX als Liegemöbel, als Stühle und Tische sowie als Lampengestell. Für den Sportbereich wurden konkrete Gespräche bezüglich eines Golf-Caddys aus splineTEX, einem Ruder-Paddel sowie einem Wurfgerät geführt. Im medizinischen Bereich gab es konkrete Anfragen für Transportliegen, Rollstühle sowie Prothesen, die mit splineTEX gefertigt werden sollen. Für den Bereich Windenergie bestand das Interesse in der Substitution von Stahlrohren durch die splineTEX-Technologie.

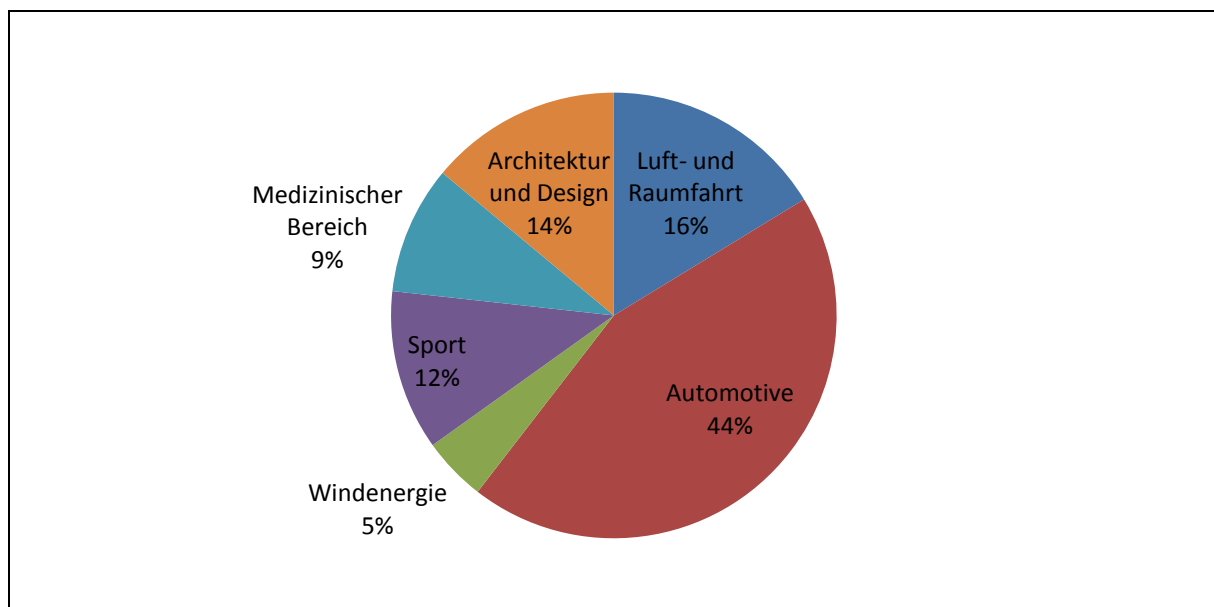


Abbildung 57: Anteile der Anwendungsbereiche für splineTEX¹⁵⁷

In dieser Arbeit liegt das Hauptaugenmerk für den Einsatz der splineTEX-Technologie in den beiden Bereichen Automotive und Sport.

5.1.1 Durchführung und Auswertung von Experteninterviews

Um geeignete Anwendungen für die splineTEX-Technologie zu finden, wurden eine Reihe von persönlichen Experteninterviews mit Fachleuten aus den Bereichen Luftfahrt, Leichtbau, Automobilbau, Maschinenelemente, Werkstoffkunde sowie Schweißtechnik durchgeführt.

¹⁵⁶ Eigene Darstellung, ermittelt aus Messeprotokollen Firma superTEX

¹⁵⁷ Eigene Darstellung, ermittelt aus Messeprotokollen Firma superTEX

Dabei wurde nach folgendem Interviewleitfaden vorgegangen.

Vorstellung einer innovativen Technologie zur Herstellung von komplex geformten FVK-Strukturelementen in unterschiedlichen Maßstäben für unterschiedliche Anwendungsbereiche.

- 1.) Dem Gesprächspartner werden Produktfilme der Firma superTEX sowie bildliche Darstellungen der splineTEX-Technologie gezeigt, um die Innovation zu erläutern.
- 2.) Anschließend werden folgende Fragen zu splineTEX gestellt:
 - Welche Anwendungsbereiche können Sie sich vorstellen, in denen splineTEX eingesetzt wird?
 - Für welche konkreten Anwendungen können Sie sich einen splineTEX-Einsatz vorstellen?
 - Bewerten Sie bitte die Umsetzbarkeit in die Serienreife.
 - Sind Ihnen ähnliche Produkte oder Verfahren wie die splineTEX-Technologie bekannt?

Die Interviews wurden in einem persönlichen Gespräch mit den Gesprächspartnern durchgeführt. Bei Personen, deren Namen auf eigenen Wunsch in dieser Arbeit nicht bekannt gegeben werden soll, wurde lediglich der Fachbereich genannt, in dem die Person tätig ist.

Eine exemplarische Antwort auf die Fragen aus dem Interviewleitfaden ist in Abbildung 58 dargestellt. Bei dem Gesprächsverlauf handelt es sich um Experten aus dem Bereich Maschinenelemente, weitere Gesprächsverläufe mit Personen aus anderen Fachrichtungen finden sich in Anhang 1.

Expertengespräch Bereich Maschinenelemente der TU Graz:

„Die Anwendungsbereiche für diese Technologie liegen klar im **Automobilbau**, in **der Formel 1** und dem **Motorradbau**. Dort kann sie als **Trägerprofile**, **Wellen** oder **Rohrkonstruktionen** eingesetzt werden. Eine **Serienproduktion für Wellen ist sehr gut vorstellbar**. Mit dieser Technologie scheint ein **optimaler Kraftfluss** realisierbar zu sein. Aktuell ist jedoch die Festigkeitsberechnung von Faserverbundbauteilen nicht einfach durchführbar und meist nur empirisch über Prototypen ermittelbar. Es ist uns keine ähnliche Technologie, vergleichbar mit der splineTEX-Technologie, bekannt.“
(persönliches Gespräch vom 30.01.2013)

Abbildung 58: Expertengespräch mit Experten aus dem Bereich Maschinenelemente

Aus diesem Gesprächsverlauf geht deutlich hervor, dass die Hauptanwendungsbereiche für die splineTEX-Technologie vorwiegend im Automobilbereich gesehen werden. Auch die Umsetzung einer Serienproduktion, besonders für Wellen, ist generell sehr gut vorstellbar.¹⁵⁸

Laut Herrn Dr. Karall, Lead Researcher Lightweight Design des Virtual Vehicle Research Center in Graz, besteht für die splineTEX-Technologie ein breites Anwendungsspektrum. Im Speziellen ist der Einsatz als Rahmenstruktur im Fahrzeugbau, Flugzeugbau und generell im Leichtbau vorstellbar. Allerdings wäre, für die Herstellung von Bauteilen größerer Stückzahlen, ein höherer Automatisierungsgrad sinnvoll und erstrebenswert. Herr Dr. Karall zählt die klassische Pultrusion, im speziellen das Pullcurve-Verfahren, als ähnliches Verfahren zu splineTEX. Sollte der Aluminiumliner eine Duktilitätssteigerung bewirken, würde sich die splineTEX-Technologie hervorragend für die Stahlsubstitution eignen.¹⁵⁹

Herr Dipl.-Ing. Scartezzini, Mitarbeiter des Institute for Lightweight Design der TU Graz, sieht besonderes Anwendungspotenzial für splineTEX im Bereich der Prüfstandtechnik, da es hierbei, aufgrund der hohen Massenträgheiten, auf besonders leichte Materialien ankommt. Somit wäre es denkbar, komplette Prüfstände mit der splineTEX-Technologie aufzubauen. Generell weist, laut Dipl.-Ing. Scartezzini, der Werkstoff CFK in der Gesellschaft eine hohe Akzeptanz auf und wird als hochwertiges Material angesehen. Daher ist der Einsatz von splineTEX auch speziell für Sichtbauteile gut geeignet. Die Automatisierbarkeit der splineTEX-Technologie wird auf 80 – 100% eingeschätzt.¹⁶⁰

Für Herrn Dipl.-Ing. Luxner, staatlich befugter und beedeter Ingenieurkonsulent für Maschinenbau, liegt der Haupteinsatzbereich für die splineTEX-Technologie im Consumerbereich. Dort könnte der Werkstoff beispielsweise für Kinderwagen oder Rucksackgestelle eingesetzt werden. Auch Anwendungen im Designerbereich, z.B. für Einrichtungsgegenstände, sind generell gut vorstellbar. Für den Automobil- sowie

¹⁵⁸ Persönliches Gespräch mit Experten aus dem Bereich Maschinenelemente (30.01.2013)

¹⁵⁹ Persönliches Gespräch mit Dr. Karall (30.01.2013)

¹⁶⁰ Persönliches Gespräch mit Dipl.-Ing. Scartezzini (23.01.2013)

Luftfahrtbereich wird splineTEX lediglich für den Einsatz als Sitzkonstruktionen für geeignet befunden.¹⁶¹

Laut eines Experten für Luftfahrttechnik der TU Graz hat die splineTEX-Technologie in der Luft- und Raumfahrtbranche kaum Einsatzpotenzial, da dort vorwiegend gelegte CFK-Matten verarbeitet und mittels einem Autoklaven bei hohen Temperaturen ausgehärtet werden. Es ist maximal vorstellbar, splineTEX als Flugzeuginterieur, beispielsweise für Hebel oder Griffe, zu verarbeiten. Auch wird die Automatisierbarkeit von splineTEX eher gering eingeschätzt. Die Einsatzbereiche für eine derartige Technologie befinden sich laut des Experten eher in den Bereichen Architektur und Design.¹⁶²

Laut den Aussagen eines Mitarbeiters der BMW Group, der im Bereich Karosserie tätig ist, besteht ein deutlicher Vorteil der splineTEX-Technologie in der Herstellung von Bauteilen einfacher Geometrie in Meterware, gegenüber anderen Verfahren. Besonders in der Herstellung von CFK-Hohlkörpern, die mit splineTEX ohne die Verwendung eines komplexen Kerns hergestellt werden können, liegt ein positiver Nutzen der splineTEX-Technologie gegenüber Verfahren, für die die Verwendung eines Kerns unerlässlich ist. Dadurch ist laut den Aussagen des BMW-Mitarbeiters die einfache und kostengünstige Herstellung von seriennahen Prototypen möglich.¹⁶³

Laut den Aussagen eines Mitarbeiters der Firma ALPEX, hat sich die Verteilung des CFK-Einsatzes in den letzten zwei Jahren im Luftfahrt- und Automobilbereich von 70:30 auf 50:50 verändert. Er vermutet, dass dieser Trend für die nächsten 10 Jahre bestehen bleibt.¹⁶⁴

Dipl.-Ing. Dr.techn. Enzinger, Associate Professor am Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik der TU Graz, sieht die Anbindung von splineTEX-Bauteilen mit anderen Bauteilen kritisch, da der verwendete Werkstoff nur schwer durch Fügetechnik verbunden werden kann. Generell wird das Verfahren als gut automatisierbar eingeschätzt, ist allerdings nur für die Produktion von großen Stückzahlen sinnvoll. Hauptanwendungsbereiche werden eher im privaten Bereich gesehen, z.B. als Griff für eine Schneeschaufel oder für Gartenwerkzeug. Auch denkbar wäre der Einsatz der splineTEX-Technologie als Dachträger, Fahrradträger oder Anhänger, besonders im Transportwesen. Da bei Löschfahrzeugen der Feuerwehr Gewichtseinsparungen eine große Rolle spielen, um dadurch mehr Löschwasser transportieren zu können, wäre auch in diesem Bereich eine Verwendung der splineTEX-Technologie für diverse Anwendungen vorstellbar.¹⁶⁵

¹⁶¹ Persönliches Gespräch mit Dipl.-Ing. Luxner (15.02.2013)

¹⁶² Persönliches Gespräch mit Experten Luft- und Raumfahrttechnik (31.01.2013)

¹⁶³ Aussage Mitarbeiter BMW (24.04.2013)

¹⁶⁴ Aussage Mitarbeiter ALPEX (29.03.2013)

¹⁶⁵ Persönliches Gespräch mit Dipl.-Ing. Dr.techn. Enzinger (12.05.2013)

In Tabelle 14 sind die Experteninterviews zusammengefasst.

Tabelle 14: Zusammenfassung Experteninterviews

	Vorstellbare Anwendungsbereiche	Vorstellbare konkrete Anwendungen	Automatisierbarkeit/ Serienreife	Ähnliche Verfahren
Experten Bereich Maschinenelemente	Automobilbau, Motorradbau, Formel 1	Trägerprofile, Wellen, Rohrkonstruktionen	Serienproduktion für Wellen sehr gut vorstellbar	kein Verfahren bekannt
Dr. Karall-ViF	Automobilbau, Flugzeugbau, Leichtbau	Rahmenstruktur	für größere Stückzahlen Automatisierbarkeit erhöhen	klassische Pultrusion/ Pullcurve-Verfahren
Dipl.-Ing. Scartezini-Leichtbau	Prüfstandtechnik	Sichtbauteile,	hohe Automatisierbarkeit (80% – 100%)	kein Verfahren bekannt
Dipl.-Ing. Luxner-Ingenieurkonsulent für Maschinenbau	Consumerbereich, Design & Architekturbereich	Kinderwagen, Rucksäcke, Sitzkonstruktionen, Einrichtungsgegenstände	n/a	keine Verfahren bekannt
Experte Bereich Luftfahrt	Kaum Einsatzpotenzial in der Luftfahrt, max. als Interieur, eher im Architektur- und Designbereich	Sitzkonstruktionen, Hebel, Griffe	geringe Automatisierbarkeit	keine Verfahren bekannt
Dipl.-Ing. Dr.techn. Enzinger-Werkstoffkunde und Schweißtechnik	Privater Bereich, Transportwesen, Feuerwehrtechnik	Griff für Schneeschaukel und Gartenwerkzeug, Dachträger, Fahrradanhänger, Bauteile in Feuerwehrautos	gute Automatisierbarkeit, allerdings nur für hohe Stückzahlen sinnvoll	keine Verfahren bekannt

Es hat sich gezeigt, dass Gespräche mit Experten aus den unterschiedlichsten Fachrichtungen eine gute Möglichkeit darstellen, um durch verschiedene Aussagen neue Anwendungsbereiche und Anwendungen für die splineTEX-Technologie zu erforschen.

5.1.2 Neue Anwendungsbereiche für die splineTEX - Technologie

Im Rahmen dieser Arbeit wurde unter anderem aktiv nach neuen Anwendungen gesucht, die die bisherigen Anwendungsbereiche ergänzen. Dafür wurden auch Interviews mit Experten verschiedener Bereiche durchgeführt.¹⁶⁶

Zum einen sind Produkte denkbar, die bereits mit anderen Verfahren aus CFK hergestellt werden, wie beispielsweise Fahrradrahmen, Fahrradlenker sowie Ski- und Wanderstöcke.

Aber auch neue, noch nicht in CFK hergestellte Produkte und Anwendungen, realisiert mit der splineTEX-Technologie, sind denkbar.

Die Vorteile von Kohlefaserverbund für spezielle Anwendungen liegen zum einen im Gewichtsvorteil gegenüber anderen Materialien. Zum anderen bietet CFK auch eine ansprechende Optik gerade für den Architektur-, Design- und Consumerbereich. In Tabelle 15 ist eine Zusammenfassung möglicher neuer Produkte und Anwendungen gegeben. Diese wurden aus den Experteninterviews zusammengetragen.

Tabelle 15: Neue Produkte und Anwendungsbereiche für die splineTEX-Technologie

Produkt	Anwendungsbereich	Typische Seriengröße (geschätzt)
Sitz-Rahmenkonstruktion	Automotive	< 1.000 pro Jahr (Luxussegment)
Sitz-Rahmenkonstruktion	Luftfahrt	1.000 – 10.000 pro Jahr
Dachträger	Automotive/Transportwesen	< 1.000 pro Jahr
Fahrradträger	Automotive	< 1.000 pro Jahr
Gestelle für Prüfstandaufbau	Prüfstandtechnik	< 100 pro Jahr
Rucksackgestell	Sport- und Freizeit	1.000 – 10.000 pro Jahr
Kinderwagengestell	Consumerbereich	< 1.000 pro Jahr
Diverse Einrichtungsgegenstände	Designbereich	< 10.000 pro Jahr
Griff für Schneeschaukel	Consumerbereich	< 1.000 pro Jahr
Griff für Gartenwerkzeug	Consumerbereich	< 1.000 pro Jahr

Die angegebenen Stückzahlbereiche beruhen auf firmeninternen Abschätzungen.

5.1.3 Technologische Bewertungskriterien

Um das technologische Risiko und das technologische Anwendungspotenzial für die einzelnen, möglichen Anwendungen der splineTEX-Technologie abschätzen zu können, wurden in einer firmeninternen Expertenrunde, zusammen mit zwei Mitarbeitern der Firma Thöni, diverse Bewertungskriterien für die splineTEX-Technologie definiert, die in Tabelle 16 dargestellt sind.

¹⁶⁶ Siehe Kapitel 5.1.1

Tabelle 16: Interne Bewertungskriterien für die splineTEX-Technologie¹⁶⁷

Kriterien	Messgröße/Bewertung
Typische Seriengröße für Bauteile dieser Anwendung	Stückzahl pro Jahr
Material des Bauteils, das aktuell für diese Anwendung verwendet wird	Stahl, Aluminium, Faserverbund,...
Geforderte Gewichtseinsparung	0 (gering) bis 5 (hoch)
Sichtbauteil	Ja/Nein
Sicherheitsrelevanz	0 (gering) bis 5 (hoch)
Produktentwicklung (F&E, Engineering)	Ja/Nein
Qualitätsanforderung	0 (gering) bis 5 (hoch)
Bauteil mit konstantem Querschnitt	Ja/Nein
Bauteil dreidimensional gekrümmt	Ja/Nein
Biegeverhältnis	Krümmungsradius/Bauteildurchmesser
Verhältnis Bauteillänge/Durchmesser	Bauteillänge/Durchmesser
Funktionsintegration des In-/Outliners	Ja/Nein

Die typischen Seriengrößen für Bauteile konkreter Anwendungen beruhen dabei auf Schätzungen. Die Kriterien drei Kriterien, geforderte Gewichtseinsparung, Sicherheitsrelevanz und Qualitätsanforderung wurden mit einem Bewertungschema von 0 (niedrig) bis 5 (hoch) eingeschätzt und bewertet. Da für eine Produktentwicklung im technischen Bereich zum Teil ein sehr hoher Forschungs- und Entwicklungsaufwand erforderlich ist, wurde auch dieses Bewertungskriterium, bewertet mit Ja bzw. Nein, der Bewertung hinzugefügt.

Das Biegeverhältnis entspricht dem Quotienten aus Krümmungsradius und Bauteildurchmesser. Ein Biegeverhältnis unter 2 ist aufgrund eines verhältnismäßig kleinen Krümmungsradius kaum realisierbar und trägt somit zu einem hohen technologischen Risiko bei.

¹⁶⁷ Interne Expertenrunde Firma Thöni

Die Definition des technologischen Risikos wurde nach folgendem Bewertungsschema vorgenommen.

- hoch: Biegeverhältnis < 2 oder Automotive-/Luffahrtbereich, Sicherheitsrelevanz sowie Qualitätsanforderung > 4 , Produktentwicklung;
- mittel: Biegeverhältnis $2 - 3$ und Sport-/Automotivebereich, Sicherheitsrelevanz $3 - 4$, Qualitätsanforderung 4 , Produktentwicklung;
- niedrig: Biegeverhältnis > 3 , Design-/Sportbereich, Sicherheitsrelevanz < 3 , Qualitätsanforderung < 4 , keine Produktentwicklung;

Demnach wird das technologische Risiko hoch eingeschätzt, wenn es sich um eine Anwendung aus dem Automotive- oder Luffahrtbereich handelt, die Qualitätsanforderungen sowie Sicherheitsrelevanz hoch eingestuft wurde und es sich um eine Produktentwicklung handelt. Auch wird das technologische Risiko für eine Anwendung als hoch eingestuft, sobald das Bauteil ein Biegeverhältnis (Quotient aus Krümmungsradius und Bauteildurchmesser) von unter zwei aufweist.

Handelt es sich um eine Anwendung, deren Sicherheitsrelevanz und Qualitätsanforderung als mittel eingeschätzt werden und handelt es sich zugleich um den Anwendungsbereich Automobil oder Sport, so wird das technologische Risiko als mittel eingestuft.

Für ein Biegeverhältnis über 3 sowie einer niedrigen Qualitätsanforderung und Sicherheitsrelevanz im Sport- und Designbereich wird das technologische Risiko als gering eingeschätzt.

Für die Abschätzung des technologischen Anwendungspotenzials für die beiden splineTEX-Varianten, sT-flex und sT-plast, wurde folgendes Bewertungsschema definiert.

- hoch: Es gibt kein vergleichbares Produktionsverfahren, mit denen in wirtschaftlicher Weise und zu gleichen Kosten die Produkthanforderungen erfüllt werden können.
- mittel: Es gibt alternative Produktionsverfahren, mit denen in wirtschaftlicher Weise und zu ähnlichen Kosten die Produkthanforderungen realisiert werden können.
- niedrig: Es gibt alternative Produktionsverfahren, mit denen in wirtschaftlicher Weise und zu geringeren Kosten die Produkthanforderungen realisiert werden können.

Um das Vorgehen zu veranschaulichen, wurde eine Bewertung der Kriterien am Beispiel eines Heckklappenscharnier, hergestellt mit der splineTEX-Technologie, durchgeführt, wie in Tabelle 17 dargestellt ist. Eine Übersicht aller Bewertungen, diverser weiteren Anwendungen für die splineTEX-Technologie, findet sich in Anhang 2.

Tabelle 17: Bewertung splineTEX-Heckklappenscharnier¹⁶⁸

Kriterien	Messgröße/Bewertung
Typische Seriengröße für Bauteile dieser Anwendung	10.000 - 50.000 Stück pro Jahr
Material des Bauteils, das aktuell für diese Anwendung verwendet wird	Stahl
Geforderte Gewichtseinsparung	3 (mittel)
Sichtbauteil	Ja
Sicherheitsrelevanz	4 (mittel - hoch)
Produktentwicklung (F&E, Engineering)	Ja
Qualitätsanforderung	5 (hoch)
Bauteil mit konstantem Querschnitt	Ja
Bauteil dreidimensional gekrümmt	Nein
Biegeverhältnis	Krümmungsradius/Bauteildurchmesser: 2-3
Verhältnis Bauteillänge/Durchmesser	Bauteillänge/Durchmesser: 10-30
Funktionsintegration des In-/Outliners	Ja (für kathodische Tauchlackierung)

Technologisches Risiko Heckklappenscharnier:

Da es sich um ein Sichtbauteil mit hohen Qualitätsanforderungen sowie hoher Sicherheitsrelevanz im Automobilbereich handelt, wird das technologische Risiko hoch eingestuft. Auch die anspruchsvolle Forschungs- und Entwicklungsarbeit, die dieses Bauteil benötigt, hat Einfluss auf diese Einschätzung.

Technologisches Anwendungspotenzial Heckklappenscharnier:

Für das technologische Anwendungspotenzial ist der Prozess der kathodischen Tauchlackierung (KTL) ausschlaggebend. Da mit der splineTEX-Technologie eine Funktionsintegration des Outliners möglich ist, der als Schutz des Heckklappenscharniers während der kathodischen Tauchlackierung dient, wird das technologische Anwendungspotenzial für splineTEX hoch eingestuft, da diese Produkthanforderung mit keinem anderen Produktionsverfahren in wirtschaftlicher Weise und zu den selben Kosten realisiert werden kann.

¹⁶⁸ Interne Expertenrunde Fa. Thöni

„Lead-User“- Gespräch mit Mitarbeiter Firma Magna Steyr:

Für eine externe technologische Einschätzung der splineTEX-Technologie wurde ein „Lead-User“- Gespräch, mit einem Mitarbeiter der Firma Magna Steyr, durchgeführt.

Bei dem gemeinsamen Projekt mit den Firmen superTEX und Thöni handelt es sich um einen Gitterrohr-Motorradrahmen, den die Firma Magna Steyr, im Auftrag der Firma MV Agusta, aus CFK realisieren möchte. Dabei stellt die splineTEX-Technologie möglicherweise ein geeignetes Verfahren für die Umsetzung dar.

Der komplette Fragebogen mit den Antworten befindet sich in Anhang 3. Der Mitarbeiter von Magna Steyr wurde um die Bewertung und Einschätzung spezieller Anforderungen an die splineTEX-Technologie für einen potenziellen Einsatz als Motorradrahmen gebeten. Im Gespräch machte der Mitarbeiter deutlich, dass für dieses Projekt die Möglichkeit der Herstellung von länglichen, dreidimensionalen Bauteilen ohne aufwendigen Formenbau von hoher Bedeutung ist. Auch die Realisierung von unterschiedlichen Querschnitten, entlang des Bauteils, sowie verschiedene Wandstärkenanpassungen spielen eine große Rolle. Ebenso die Fertigungsgenauigkeiten, die mit der splineTEX-Technologie erreichbar sind, sind für dieses Produkt relevant. Allerdings sind die Funktionsintegration des In- und Outliners sowie eine perfekte Oberflächenbeschaffenheit für einen Motorradrahmen aus splineTEX nicht von Nöten.¹⁶⁹

5.2 Marktübersicht Automotive-Sektor und Sportartikel-Sektor

Für einige Produkte aus den Bereichen Automotive und Sport wird im Folgenden eine konkrete Marktanalyse durchgeführt. Dabei wird der Motorradrahmen als Teil des Automotive-Sektors betrachtet. Bei den ausgewählten Anwendungen handelt es sich um folgende Produkte:

- splineTEX-Heckklappenscharnier
- splineTEX-Rohrleitungen
- splineTEX-Motorradrahmen
- splineTEX-Golf-Caddy
- splineTEX-Ruder-Paddel

Für jede dieser Anwendungen liegen bereits Anfragen von Unternehmen für eine Prototypenfertigung bei den Firmen superTEX und Thöni vor.

Das Heckklappenscharnier aus splineTEX wird aktuell in einer Serie von 20 Prototypensätzen, bestehend aus linkem und rechtem Scharnier, im Auftrag der BMW Group

¹⁶⁹ Persönliches Gespräch Mitarbeiter Firma Magna Steyr (13.03.2013)

gefertigt. Es besteht zudem das Interesse, das splineTEX-Heckklappenscharnier in den Fahrzeugen der kommenden BMW 6er und 7er Reihe zu verbauen. Allerdings befindet sich dieses Projekt aktuell noch in einer Machbarkeitsstudie.

Der Fahrzeughersteller Bugatti plant, die splineTEX-Technologie für Kühlwasserrohrleitungen in seinem Fahrzeugtyp Bugatti Veyron zu verbauen. Hierfür wurden bereits vier Prototypen für Leitungen bei superTEX in Auftrag gegeben, um die Umsetzbarkeit dieses Vorhabens zu eruieren.

Die Firma Magna Steyr plant den Bau eines Strukturelements für einen Gitterrohrrahmen aus CFK, im Auftrag der Firma MV Agusta. Dafür wurde ein Prototyp bei der Firma superTEX in Auftrag gegeben, der Mitte des Jahres 2013 präsentiert werden soll.

Die Firma Giwa Tec plant einen Golf-Caddy aus CFK, hergestellt mit dem splineTEX-Verfahren, am Markt anzubieten und zu vertreiben. Um die Umsetzbarkeit zu prüfen besteht auch hier bereits eine Prototypenanfrage an die Firma superTEX.

Für die Firma Lettmann, eine der führenden Firmen in der Ruder-Paddelherstellung, wurde ein konkretes Angebot für die Herstellung der Schäfte von 400 Ruder Paddeln erstellt.

Abbildung 59 zeigt eine Marktübersicht der einzelnen Produkte. Dabei wurden verschiedene Hersteller, die gleiche oder ähnliche Produkte in verschiedenen Ausführungen herstellen, berücksichtigt.

Heckklappenscharnier (PKW-Oberklassesegment)									
Typ	BMW 7er	BMW 6er	Audi A8	Audi A7	Mercedes S-Klasse	Lexus LS	Porsche Panamera	VW CC	VW Phaeton
Fahrzeuge /Jahr (weltweit)	59.184	23.193	38.636	32.976	65.128	15.862	29.030	68.481	10.191
Quelle	http://www.bmwgroup.com	http://www.bmwgroup.com	http://www.audi.de	http://www.audi.de	http://www.daimler.com	http://www.lexus.eu	http://www.porsche.com	http://www.volkswagen.de	http://www.volkswagen.de
Strategische Ausrichtung	2015 neuer 7er BMW: Gewichtsreduzierung mit Aluminium, hochfestem Stahl und Kohlefaser-Mix (hoher Kohlefaser-Anteil); BMW: Partnerschaft mit SGL Carbon;	Dach aus Kohlenstofffaser-verstärktem Kunststoff (CFK) und Aluminium-Fahrwerk;	AUDI: Partnerschaft mit Voith GmbH Composites	AUDI: Partnerschaft mit der Firma Voith GmbH	Mercedes: Partnerschaft mit der Firma Toray	Lexus LF-CC mit CFK-Karosserie	CFK-Chassis Porsche Carrera GT	VW: Kooperation mit SGL Carbon (ebenfalls wie BMW)	VW: Kooperation mit SGL Carbon (ebenfalls wie BMW)
Abbildung									
Rohrleitungen für Kühlmittel, Wasser, Öl									
Typ	Bugatti Veyron	Audi R8	Porsche 918 Spyder	KTM X-Bow	Lamborghini Aventador	Mercedes-Benz SLR	McLaren	Ferrari 599XX	
Fahrzeuge /Jahr (weltweit)	38	2.494	Vorstellung Prototyp, Markteinführung 2. HJ 2013	40	78	einmalige Auflage: 2.100	50	34	
Quelle	Bugatti	AUDI	Porsche	KTM	Lamborghini	Mercedes-Benz	McLaren	Ferrari	
Abbildung									
Motorradrahmen									
Typ	Ducati Monster	MV Agusta Brutale	Aprilia Shiver 750	Benelli TNT	Suzuki Bandit	DB7 Oronero	BMW H2	Aprilia Dorsoduro 750	
Maschinen/Jahr (weltweit)	N/A	6.100	N/A (500 in Deutschland)	N/A (48 in Deutschland)	N/A (100 in Deutschland)	N/A	N/A	N/A	
Quelle:	Ducati	MV Agusta	Aprilia	Benelli	Suzuki	Bimota	BMW	Aprilia	
Abbildung									
Golf-Caddy									
Hersteller	Jucad (D)	Befa Golf (D)	Komperdell Golf (A)	Kiffe Golf (D)	TiCad Goldfinger (D)	Big Max (A)	Spectrumgolf (A)		
Ausführung	mit und ohne Elektroantrieb, Materialien: Titan, Edelstahl und CFK	mit und ohne Elektroantrieb, Materialien: Carbon	ausschliesslich mit Elektroantrieb, Materialien: Aluminium und CFK	mit und ohne Elektroantrieb, Materialien: Stahl, CFK (nur Griff), Aluminium	mit und ohne Elektroantrieb, Materialien: Titan, CFK	mit und ohne Elektroantrieb, Material: Aluminium	mit und ohne Elektroantrieb, Material: Aluminium		
Website	http://www.jucad.de/	http://www.befa-golf-shop.de	http://www.komperdell-golf.com	http://www.kiffe-golf.de	http://www.ticad.de/	http://www.bigmaxgolf.com	http://www.spectrumgolf.at		
Typ	JuCad Carbon Travel	Space Caddy	E-Caddy Carbon	Birdie S	TiCad Liberty	BLADE	3 Series Aluminium		
Material	CFK	CFK	CFK	Stahl	Titan	Aluminium	Aluminium		
Stückpreis	3200 Euro	3800 Euro	1200 Euro	1950 Euro	4500 Euro	399 Euro	64,95 Euro		
Elektroantrieb	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein		
Gewicht	5,8 kg	8,9 kg	9,5 kg	10,7 kg	6 kg	6,5 kg	2,5 kg		
Abbildung									
Ruder Paddel									
Firma	Lettmann (D)	Kober&Moll (D)	Grabner Sports (Ö)	Robson Paddel (D)	Mergner Paddel (D)				
Website	http://www.lettman.de/	http://www.kober-moll.com/	http://www.grabner-sports.at/	http://www.paddles.com	http://www.mergner-paddel.de				
Typ	Lettmann Ergonom Pro Tour LCS 70	Kober Paddel Viper ECF Wildwasser- und Slalompaddel	Grabner Touring Carbon Doppelpaddel 2-teilig	Robson Synergy Carbon	Mergner Wildwasserpaddel Bionic Carbon Grip				
Stück/Jahr	N/A	700-900 Stück	N/A	N/A	N/A				
Abbildung									
Eigenschaften	Handlaminiertes Schaftes im Schlauchblasverfahren, Verwendung von mehreren Materialien, CFK, Kevlar, Flies;	CFK-SCHÄFTE Carbonschäfte (CFK), hohe Steifigkeit	28 mm Carbon-Schaft, Länge: 240 cm, Einzelteil 123 cm Gewicht: 0,99 kg, Preis: 118,75 Euro	Länge: 210-240 cm, Material Blatt: Carbon, Material Schaft: Carbon 29 mm	Blätter: Polyamid mit Carbonfasern Farbe: schwarz Preis: 220 Euro				

Abbildung 59: Marktübersicht ausgewählter Produkte

5.2.1 Automotive - Sektor

Im Bereich Automotive zählen aktuell die BMW Group, mit dem Projekt CFK-Heckklappenscharnier, Bugatti, mit dem Projekt CFK-Kühlwasserleitungen sowie Magna Steyr, mit dem Projekt CFK-Motorradrahmen, zu den wichtigsten Lead-Kunden der Firmen superTEX und Thöni.

5.2.1.1 splineTEX Heckklappenscharnier für die BMW-Group

Die BMW-Group zählt, sowohl unter den Automobilherstellern als auch in der Verarbeitung von CFK, zu den Vorreitern im Bereich Faserverbund in der Serienfertigung.

Im Jahr 2011 lag der weltweite Marktanteil der BMW Group an der globalen Automobilproduktion bei 2,82%, wie die Grafik in Abbildung 60 aufzeigt.

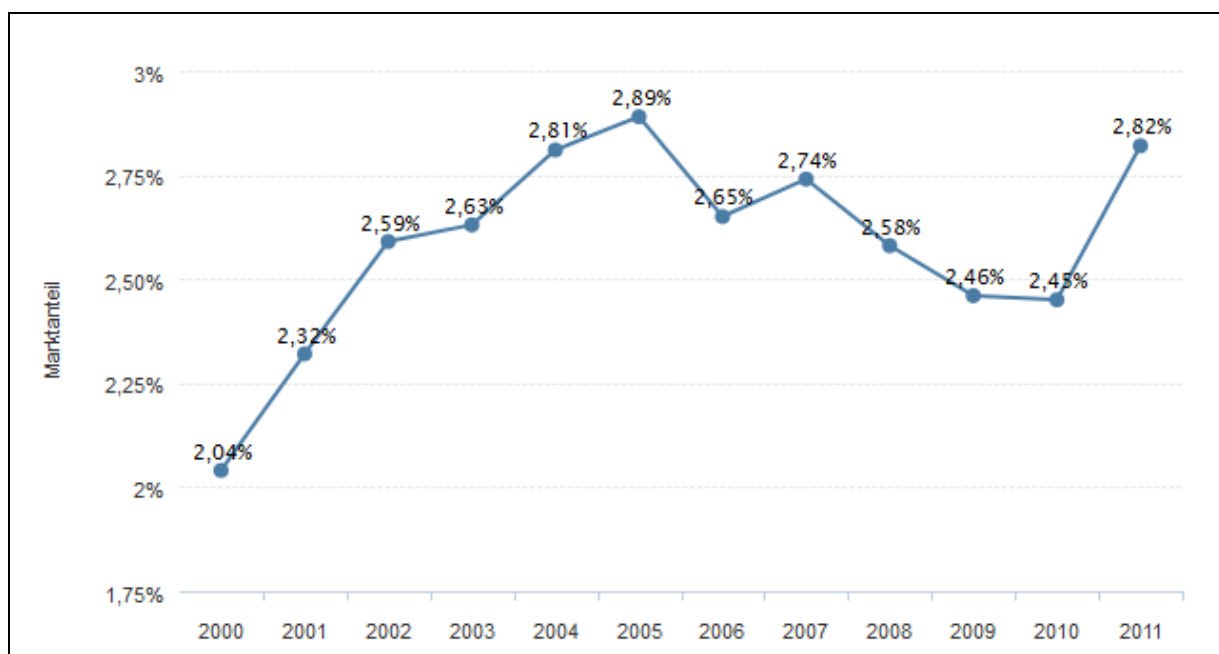


Abbildung 60: Marktanteil von BMW an der globalen Automobilproduktion 2000 bis 2011¹⁷⁰

Für den Einsatz eines Heckklappenscharniers aus CFK wurden konkret ausgewählte PKW der Oberklasse betrachtet, da eine Substitution von Heckklappenscharnieren in der Mittelklasse für die Fahrzeughersteller zu kostspielig sein dürfte. Wie in Kapitel 3.1.3 aufgezeigt, wird für Fahrzeuge der Oberklasse ein CFK-Einsatz von durchschnittlich 1% prognostiziert.

Da splineTEX nicht nur in Fahrzeugen von BMW, sondern auch in anderen Fahrzeugen als Heckklappenscharnier verbaut werden könnte, wurden die Heckklappenscharniere von ausgewählten PKW der Oberklasse der verschiedenen Hersteller betrachtet, wie in Abbildung 59 dargestellt ist.

¹⁷⁰ Vgl. www.statista.de (10.05.2013)

Für die Ermittlung des möglichen Marktanteils für den Einsatz der splineTEX-Technologie in Fahrzeugen der aktuellen 6er und 7er Reihe der BMW-Group, wurde von den weltweiten Verkaufszahlen der Fahrzeuge ausgewählter Hersteller ausgegangen. Sollte die splineTEX-Technologie für einen der genannten Hersteller als Heckklappenscharnier in einer Baureihe der Oberklasse eingesetzt werden, so wird angenommen, dass splineTEX in jedem dieser Fahrzeugtypen eingesetzt wird, unabhängig von regionalen und globalen Märkten.

Der weltweite Jahresabsatz für die ausgewählten Fahrzeuge der Oberklasse im Jahr 2012 betrug laut Angaben der verschiedenen Hersteller insgesamt 342.681 PKW. In Abbildung 61 ist die Verteilung der Absatzzahlen der einzelnen Hersteller dargestellt.



Abbildung 61: Diverse PKW der Oberklasse¹⁷¹

Allerdings kommen für den Einsatz von splineTEX nicht alle Fahrzeuge der Oberklasse in Betracht. Wie in Abbildung 59 zu erkennen ist, eignen sich die Heckklappenscharniere des Porsche Panamera sowie des VW Phaeton nicht für eine Substitution durch die splineTEX-Technologie, da diese Scharniere keine schlauchförmige und rohrähnliche Geometrie aufweisen. Bei diesen beiden Typen wird der Kofferraum mittels Gasfedern geöffnet. Somit reduziert sich die Anzahl der potenziellen Fahrzeuge der Oberklasse auf 303.460 Stück pro Jahr.

Es wird davon ausgegangen, dass für den Einsatz der splineTEX-Technologie eine Exklusivitätsvereinbarung mit dem jeweiligen Hersteller vereinbart wird, der plant, die splineTEX-Technologie zur Herstellung von CFK-Heckklappenscharniere zu verwenden. Somit reduziert sich der Anteil an potenziellen Fahrzeugen auf die Absatzzahl der Oberklassenfahrzeuge eines Herstellers, im folgenden Beispiel auf die BMW-Group, da hier

¹⁷¹ Eigene Darstellung, Absatzzahlen laut Hersteller

ein konkretes Projekt zur Umsetzung vorliegt. Da sowohl der BMW 7er als auch der BMW 6er aus dem Bereich der BMW-Oberklassefahrzeuge für ein Heckklappenscharnier aus splineTEX infrage kommen würden, beläuft sich der Anteil des Jahresabsatzes dieser beiden Typen auf 82.377 Stück, was einem Anteil von 27,15% an den für splineTEX geeigneten Oberklassefahrzeugen bedeutet, wie in Abbildung 62 dargestellt ist.

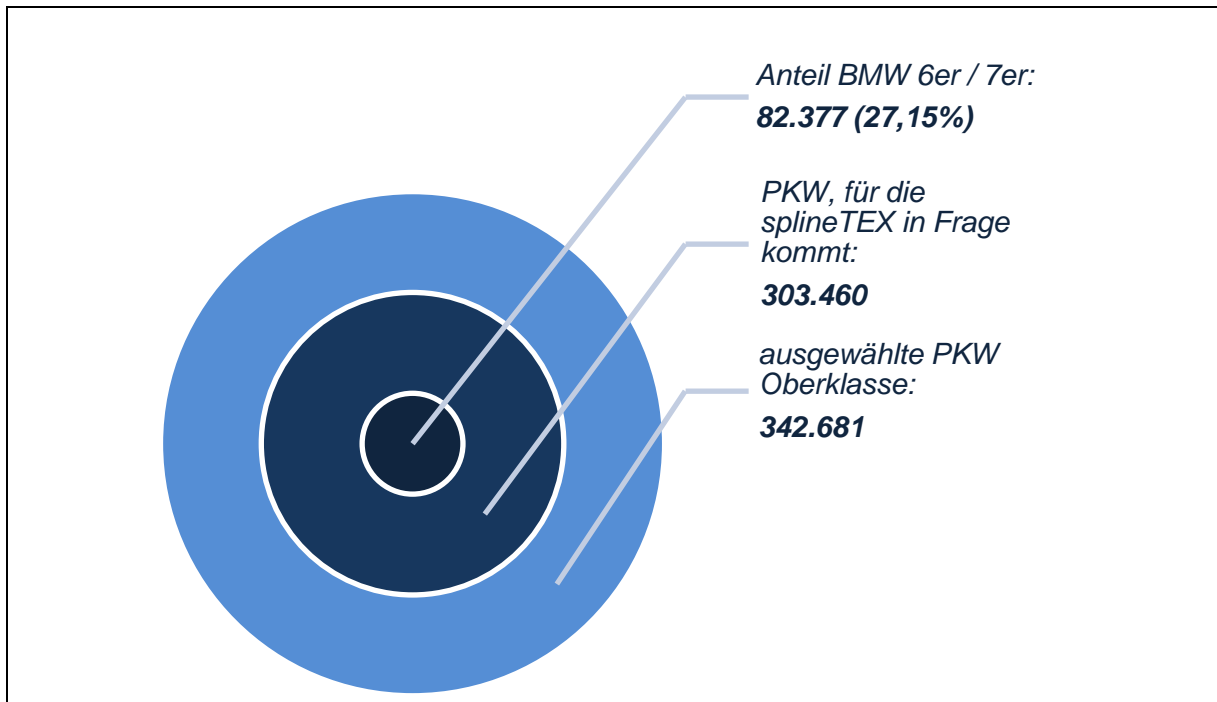


Abbildung 62: Anteil BMW 6er und 7er am Oberklassesegment¹⁷²

Die BMW-Group legt ihren Fokus für den Einsatz von CFK deutlich auf die Serienfertigung. So wurde bereits mit der Herstellung der ersten Serienfahrzeuge mit einem maßgeblichen Anteil an CFK begonnen. Unter der neuen Submarke BMW i wird das sogenannte Megacity Vehicle, der BMW i3, ein batterieelektrisches Fahrzeug, sowie der BMW i8, ein Sportwagen mit Plug-In Hybridantrieb, Ende 2013 im Markt eingeführt. Dafür wurde, zusammen mit der SGL Group, das Joint Venture SGL Automotive Carbon Fibers gegründet, um eine exklusive Lieferung von Kohlefasern an BMW zu gewährleisten. Die SGL-Group deckt somit, als einziger europäischer Carbonfaser- und Composites-Hersteller, die gesamte Wertschöpfungskette des Unternehmens ab.¹⁷³

Denkbar wäre ebenfalls, splineTEX-Heckklappenscharniere dem Konkurrenzhersteller AUDI anzubieten, falls BMW nicht an einem Serieneinsatz von splineTEX-Heckklappenscharnieren interessiert ist. Wie in Abbildung 59 zu erkennen ist, wäre sowohl der AUDI A7 als auch der AUDI A8 aus dem Oberklassesegment von AUDI für den Einsatz eines splineTEX-Heckklappenscharniers geeignet. Zudem setzt auch AUDI zunehmend auf den Einsatz von

¹⁷² Eigene Darstellung

¹⁷³ Vgl. www.sglacf.de (22.05.2013)

faserverstärkten Materialien in den Fahrzeugen, wie der Aussage des AUDI-Vorstandchefs zu entnehmen ist:

“Faserverstärkte Kunststoffe bieten Gewichts- und Festigkeitsvorteile, die wir heute bereits etwa beim Audi R8 oder dem Audi RS 3 einsetzen. Diese Vorteile wollen wir auch für die Großserie nutzen, und deshalb stehen konkrete Fahrzeugprojekte im Fokus unserer Zusammenarbeit mit Voith. Wir konzentrieren uns im Sinne eines nachhaltigen Materialkreislaufes auf Herstellung und Wiederverwertbarkeit von faserverstärkten Materialien. Denn es ist Teil unserer unternehmerischen Verantwortung, dass wir uns auf dem Weg zum Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen in der Großserie der Herausforderung stellen, Ökologie und Ökonomie in Einklang zu bringen. Mit Audi und Voith treffen sich die richtigen Partner, um diese Herausforderungen zu bewältigen.” (Rupert Stadler, Vorsitzender des Vorstands der AUDI AG).¹⁷⁴

5.2.1.2 splineTEX Rohrleitungen

Für den Einsatz von splineTEX als fluidführende CFK-Rohrleitungen für Kühlmittel, Wasser, Öl usw. wurden potenzielle Fahrzeuge des Luxussegments näher betrachtet. Wie in 3.1.3 erwähnt, wird besonders in diesem Bereich ein hoher CFK-Anteil, von bis zu 36%, prognostiziert. Für das Oberklassesegment jedoch, dürfte der Einsatz von CFK-Rohrleitungen für die Fahrzeughersteller zu kostenintensiv sein.

Wie aus Abbildung 59 hervorgeht, liegen die Absatzzahlen für Fahrzeuge aus diesem Segment unter 100 Fahrzeugen pro Jahr. Laut Angaben des Herstellers, wurde der Bugatti Veyron weltweit im Jahr 2012 lediglich 38-mal verkauft. Als Ausnahme der betrachteten Luxuskarossen, liegt der AUDI R8 mit einem Jahresabsatz von knapp 2.500 Stück an der Spitze.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass pro Fahrzeug mehrere Rohrleitungen, evtl. auch für Elektroleitungen, aus splineTEX verbaut werden könnten, was zu einer Stückzahl von etwa 1000 Stück pro Jahr führen würde.

Laut Bugatti wird bei der Herstellung des Bugatti Veyron vorwiegend und bewusst auf Leichtbaumaterialien gesetzt. Alleine durch Titanpleuel, Titanschrauben und Ventilhauben aus Magnesium können im Motorraum bis zu 10 Kilogramm Gewicht eingespart werden. Auch durch die Kohlefaser-Monocoque-Bauweise, die nur 110 Kilogramm wiegt, kann zusätzlich Gewicht gegenüber herkömmlichen Karosserien aus Metall eingespart werden.¹⁷⁵

5.2.1.3 splineTEX Motorradrahmen

Aufgrund der geeigneten Eigenschaften von splineTEX, auch gebogene Strukturelemente herstellen zu können, ist es denkbar, mit dieser Technologie gekrümmte Rahmenstrukturen aus Faserverbundmaterial für Motorräder herzustellen.

Die Firma Bimota hat bereits im Jahr 2010 mit dem Modell DB7 Oronero eine Straßenmaschine mit Carbonrahmen auf den Markt gebracht, der in Zusammenarbeit mit einem Fahrradrahmenhersteller entwickelt wurde. Allerdings erfolgt die Herstellung des

¹⁷⁴ Vgl. www.bimmertoday.de (04.04.2013)

¹⁷⁵ Vgl. www.bugatti.com (26.05.2013)

Rahmens in Handarbeit. Daher werden von diesem Modell nicht mehr als 30 Maschinen pro Jahr gefertigt.¹⁷⁶

Die Firma MV Agusta sowie die Firma Ducati sind ebenfalls an der Herstellung von Motorradrahmen aus CFK interessiert. Daher besteht großes Interesse, derartige Rahmen mit der splineTEX-Technologie in Serie herzustellen.

Für einen Überblick über verschiedene Motorräder, bei denen der Rahmen nicht abgedeckt ist und somit ein Sichtbauteil darstellt, wurden sogenannte „Naked Bikes“ näher betrachtet. In Abbildung 59 sind einige dieser Modelle verschiedener Hersteller dargestellt. Von dem Modell „Brutale“ der Firma MV Agusta wurden laut Hersteller im Jahr 2012 weltweit 6.100 Stück abgesetzt. Da es für einen CFK-Motorradrahmen, hergestellt mit der splineTEX-Technologie, durchaus denkbar wäre, diesen in verschiedenen Modellen einzusetzen, könnte damit eine Seriengröße von etwa 10.000 splineTEX Motorradrahmen pro Jahr erreicht werden.

5.2.2 Betrachtung Sportartikel - Sektor

Für Anwendungen der splineTEX-Technologie im Sportartikel-Sektor bestehen derzeit zwei konkrete Projekte. Zum einen wird der Einsatz von splineTEX für den Strukturaufbau eines Golf-Caddys in Betracht gezogen, zum anderen gibt es konkrete Vorstellungen, splineTEX für die Schäfte von Ruder-Paddel einzusetzen.

5.2.2.1 splineTEX als Golf-Caddy

Die Firma Giwa Tec ist an der Herstellung eines Golf-Caddys aus CFK mit der splineTEX-Technologie interessiert, da die Möglichkeit besteht, längliche, rohrähnliche Strukturen mit diesem Verfahren herzustellen.

Laut den Aussagen einer Mitarbeiterin der Firma Golf House in München, werden die Rahmen der meisten Golf-Caddys heutzutage aus Titan hergestellt. Laut ihren Schätzungen besitzen 98% aller Golfspieler einen Golf-Caddy, 15% davon elektrisch betrieben. Dieser hohe Anteil an Golf-Caddy-Besitzern ist auf den relativ günstigen Preis, im Vergleich zu den sonst üblichen Preisen im Golfbereich, zurückzuführen. So werden Golf-Caddys ohne Elektroantrieb bereits ab 64,95 Euro angeboten. Auch besteht die Möglichkeit, Golf-Caddys direkt an den Golfplätzen vor Ort auszuleihen. Allerdings nutzen dieses Angebot meist nur Anfänger bzw. Neueinsteiger oder Gäste eines anderen Golfclubs, die für das einmalige Spielen auf dem fremden Golfplatz das eigene Caddy nicht mitgenommen haben.

Obwohl die meisten Golf-Caddys aus Metall bestehen, werden bereits Modelle aus CFK am Markt angeboten. Der deutliche Nachteil dieser Caddys besteht jedoch darin, dass durch Beschädigungen des Materials meist unästhetische und irreparable Risse und Kratzer entstehen, wie aus dem Gespräch mit der Mitarbeiterin hervorgeht. Diese Tatsache lässt die meisten Golfspieler daher auf Golf-Caddys zurückgreifen, die aus Titan oder Edelstahl gefertigt werden.¹⁷⁷

¹⁷⁶ Vgl. www.motorradonline.de (23.05.2013)

¹⁷⁷ Laut den Aussagen einer Mitarbeiterin des Golf House München

Der Marktführer im deutschsprachigen Raum, das Familienunternehmen JuCad, bietet einen eklektisch betriebenen Carbon-Caddy mit der Bezeichnung JuCad Carbon Travel an. Dieser Caddy wird aus Vollcarbonrohren gefertigt und hat ein Gewicht von 5,8 kg. Wird dieser Caddy zusammengeklappt, erreicht er ein Packmaß von 65x35x15 cm. Der Preis für dieses Modell liegt bei 3.200 Euro. Eine deutlich günstigere Variante ist der JuCad Carbon Caddy ohne Elektroantrieb. Dieser liegt bei einem Preis von 699 Euro, einem Gewicht von rund 4kg und erreicht ebenfalls ein Packmaß von 65x35x15 cm.¹⁷⁸

Die Anzahl der Golfspieler im deutschsprachigen Raum ist in den letzten vier Jahren kontinuierlich gestiegen. Im Jahr 2009 waren es in Deutschland, Österreich und der Schweiz noch etwa 750.000 Golfspieler, im Jahr 2012 konnten über 800.000 aktive Golfer verzeichnet werden, wie in Abbildung 63 dargestellt.

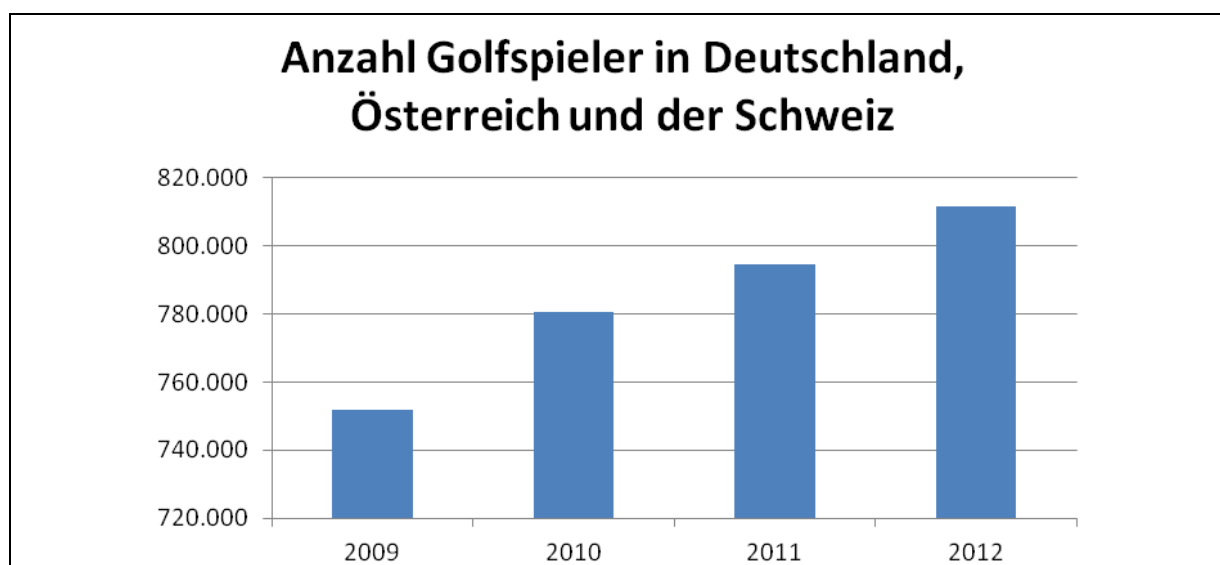


Abbildung 63: Anzahl Golfspieler D-A-CH¹⁷⁹

Zieht man die Aussagen der Golf House Mitarbeitern heran, wonach etwa 98% der aktiven Golfspieler ein eigenes Golf-Caddy besitzen, ergibt das ca. 784.000 Stück allein in den Ländern Deutschland, Österreich und der Schweiz. Wird davon ausgegangen, dass im Durchschnitt alle 6 Jahre ein neues Golf-Caddy angeschafft wird, entspricht dies einer Absatzmenge von rund 130.000 Golf-Caddys pro Jahr in diesen drei Ländern.

Wäre es möglich, mit splineTEX daran einen Anteil von ca. 2-3% zu erreichen, ist eine Jahresstückzahl von 2.600-3.900 Stück Golf-Caddys, hergestellt mit der splineTEX-Technologie, durchaus vorstellbar.

5.2.2.2 splineTEX als Ruder-Paddel

Für die Schäfte von Ruder-Paddel kommen hauptsächlich Werkstoffe wie Kunststoff, Aluminium und Faserverbundwerkstoffe zum Einsatz.

¹⁷⁸ Laut Angaben der Firma JuCad

¹⁷⁹ Vgl. www.statista.de, (11.05.2013)

Aus dem Gespräch mit einem Mitarbeiter des Paddelherstellers Kober&Moll geht hervor, dass sich die splineTEX-Technologie als potenzielles Verfahren zur Herstellung von Schäften aus Faserverbund gut eignen würde. Bei den vorwiegend eingesetzten Fasern handelt es sich dabei um Glas-, Kevlar- und Kohlefasern. Da laut des Mitarbeiters die Schäfte einiger Paddelmodelle im Griffbereich keine geradlinige, sondern eine leicht gebogene Form aufweisen, ist die Herstellung mit anderen Verfahren, wie dem RTM-Schlauchblasverfahren, aufwendig und kostenintensiv und bereitet dem Hersteller Schwierigkeiten bei der Produktion. Die gebogene Form, der sogenannte Ergoschaft, dient dabei der Entlastung der Schultern während des Ruderns. Daher wird nach alternativen Herstellverfahren, wie beispielsweise die splineTEX-Technologie, zur Herstellung der Schäfte gesucht. Laut Aussagen des Mitarbeiters werden von einem Modell etwa 700-900 Stück pro Jahr produziert. Der Schaft des Paddels besteht aus einer Kombination von Glas- und Kohlefasern. Würde eine Herstellung mit der splineTEX-Technologie möglich sein, wäre eine Stückzahl von knapp 1.000 Schäften pro Jahr durchaus realistisch.

Auch andere Hersteller, wie die Firmen Lettmann, Grabner Sports, Robson Paddel und Mergner Paddel haben sich auf die Herstellung von Ruder-Paddeln aus Faserverbund spezialisiert. So wären Kooperationen und Projekte zur Herstellung von Ruder-Paddeln mit den verschiedenen Herstellern vorstellbar.

5.3 Gesamtpotentialabschätzung für splineTEX

Für eine Gesamtpotentialabschätzung für die splineTEX-Technologie, in den Bereichen Automotive und Sport, werden die Studienauswertungen, die Expertengespräche sowie die Marktanalysen herangezogen, wie auf Abbildung 64 dargestellt.

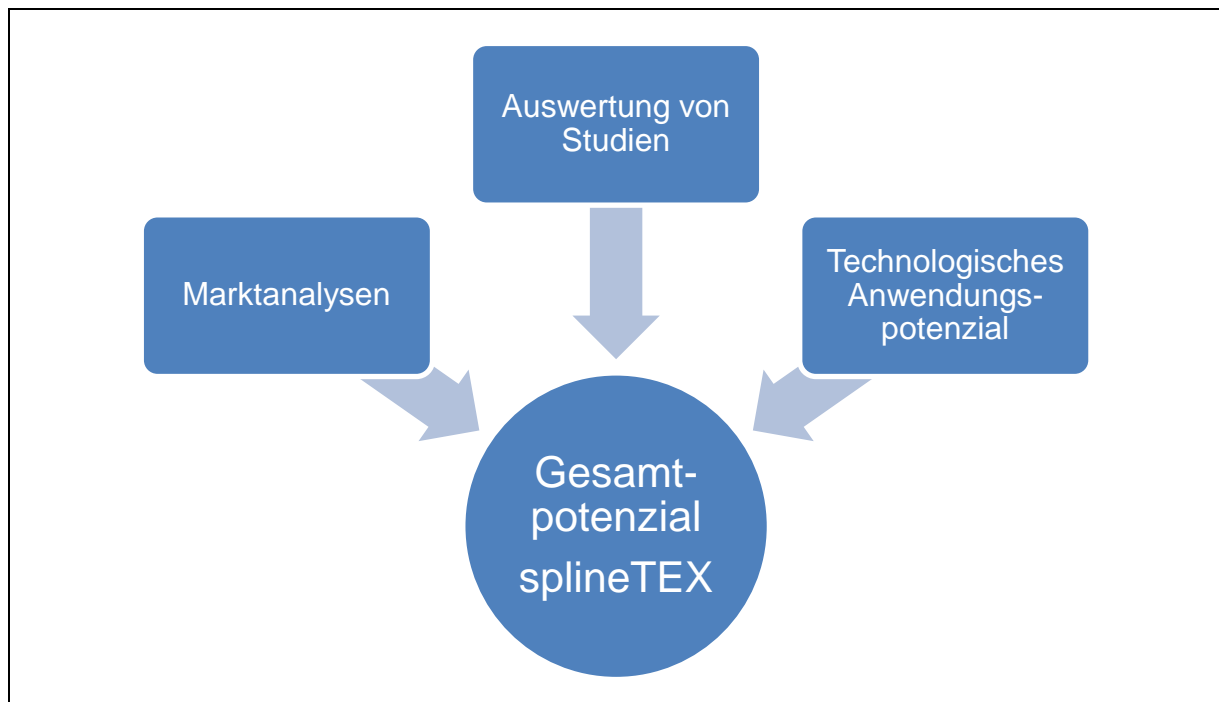


Abbildung 64: Gesamtpotenzial splineTEX

Die Einstufung der Bewertung des Gesamtpotenzials erfolgt in den drei Schritten hoch, mittel und gering.

Das Gesamtpotenzial wird demnach als hoch eingestuft, wenn

- aus den Studienauswertungen ein hoher Einsatz an CFK in den jeweiligen Bereichen prognostiziert wird.
- aus den Experteninterviews eine Aufzählung des jeweiligen Bereiches, dem das Bauteil zuzuordnen ist, erfolgt ist.
- aus der Marktanalyse ein deutliches Absatzpotenzial hoher Stückzahlen hervorgeht.
- das technologische Anwendungspotenzial des jeweiligen Bauteils als hoch eingeschätzt wurde.
- das technologische Risiko des jeweiligen Bauteils als niedrig eingeschätzt wurde.
- in dem jeweiligen Bereich hohe Stückzahlen erwartet werden.

Anhand dieser fünf Kriterien wurde für die jeweiligen Bauteile ein Gesamtpotenzial für die splineTEX-Technologie abgeschätzt.

5.3.1 Gesamtpotenzialabschätzung im Automotive - Sektor

Die Gesamtpotenzialeinschätzungen für Bauteile des Automotive-Sektor resultieren aus den Entwicklungen und Trends des CFK im Automobilbereich, speziell in der Serienfertigung, den Aussagen diverser Experten dieses Bereiches sowie umfangreichen Marktanalysen für die jeweiligen Bauteile.

Generell weist der Automobilbereich eine Seriengröße hoher Stückzahlen auf. Auch für den Einsatz von CFK-Bauteilen in Serie wird eine zunehmende Verwendung prognostiziert.¹⁸⁰

Daher ist es vorstellbar, splineTEX sowohl für die Prototypenherstellung in kleinen Stückzahlen, bis etwa 100 Stück pro Jahr, aber auch für Bauteile hoher Stückzahlen von bis zu 100.000 Stück pro Jahr, einzusetzen.

Der Haupteinsatzgrund für Bauteile in diesem Bereich ist die Gewichtseinsparung gegenüber Bauteilen aus anderen Materialien (Stahl,...).

Da die Firma Thöni bereits auf Erfahrungen im Automotive-Sektor zurückgreifen kann, da bereits Bauteile aus Aluminium für diesen Bereich gefertigt werden, bestehen schon Kontakte zu potenziellen „Lead-Usern“ für splineTEX.

- **Gesamtpotenzialabschätzung splineTEX-Heckklappenscharnier**

Laut der in Kapitel 3.1.3 zitierten McKinsey-Studie wird prognostiziert, dass der Anteil an faserverstärkten Kunststoffen im Mittel- und Oberklassesegment bis zum Jahr 2030 1% betragen wird. Bei dieser Prognose handelt es sich um einen Durchschnittswert für den gesamten Automobilmarkt.

Wie bereits in Kapitel 5.2.1.1 erwähnt, plant der Automobilhersteller BMW jedoch einen breiten Einsatz an Faserverbundbauteilen in seinen Fahrzeugen. Allerdings sind die meisten Hersteller von Mittel- und Oberklassenfahrzeugen bezüglich des CFK-Einsatzes in ihren PKW noch eher zurückhaltend. Daher ist für ein Heckklappenscharnier aus splineTEX eine Kooperation vorrangig mit der BMW Group zu forcieren.

Aus der Technologiebewertung geht hervor, dass das Heckklappenscharnier aufgrund der hohen Qualitätsanforderungen, der Sicherheitsrelevanz sowie des geringen Biegeverhältnisses ein hohes technologisches Risiko aufweist. Auch ist die Fertigung mit einem immensen F&E-Aufwand verbunden. Das technologische Potenzial, sowohl für die Herstellung in der sT-flex- als auch in der sT-plast-Variante, wurde aufgrund der kostengünstigen Herstellung als hoch eingestuft.¹⁸¹

Aus den Experteninterviews ist deutlich hervorgegangen, dass sich die splineTEX-Technologie für einen Einsatz im Automotive-Bereich gut eignen würde.¹⁸²

Auch die durchgeführte Marktanalyse hat gezeigt, dass generell für die splineTEX-Technologie als Heckklappenscharnier hohe Stückzahlen bis zu einem Bereich von 100.000 Stück (50.000 Paar) pro Jahr möglich sind. Auch ein breites Einsatzspektrum in den verschiedenen Fahrzeugmodellen der Oberklasse unterschiedlicher Hersteller wurde aufgezeigt. So kann das Heckklappenscharnier anderen Herstellern angeboten werden, falls die BMW-Group nicht an einer weiteren Zusammenarbeit interessiert sein sollte.

Obwohl ein hohes technologisches Risiko abgeschätzt wurde, wird das Gesamtpotenzial für die splineTEX-Technologie als Heckklappenscharnier als hoch eingestuft, sofern der Outliner als Funktionsintegration für den KTL-Prozess verwendet werden kann. Sowohl der Einsatz in

¹⁸⁰ Vgl. Kapitel 3.1.4

¹⁸¹ Vgl. Anhang 3

¹⁸² Vgl. Kapitel 5.1.1

Prototypenherstellung und kleinen Seriengrößen (<100 Stück pro Jahr) als auch hohe Jahresstückzahlen sind denkbar.

- **Gesamtpotenzialabschätzung splineTEX-Rohrleitungen**

Aus Kapitel 3.1.3 geht hervor, dass für das Luxusklassensegment ein breiter Einsatz an CFK im Automobilbau prognostiziert wird. Der Materialanteil am gesamten Fahrzeug dabei auf bis zu 36% im Jahr 2030 geschätzt.

Generell wird laut der Experteninterviews eine gute Eignung für splineTEX im Automobilbereich gesehen. Laut den Aussagen einiger Fachleute ist es durchaus denkbar, die splineTEX-Technologie speziell in diesem Segment z.B. für den Aufbau einer Sitzkonstruktion zu verwenden.¹⁸³

Aus der Technologiebewertung geht für Rohrleitungen, hergestellt mit der splineTEX-Technologie, aufgrund der länglichen Struktur, ein mittleres technologisches Risiko hervor, da kein kritisches Biegeverhältnis erreicht wird. Allerdings ist ebenfalls ein hoher F&E-Aufwand für die Herstellung der Leitungen nötig. Aufgrund des Gewichtsvorteils wurde das technologische Potenzial des sT-flex gegenüber dem sT-plast als hoch eingestuft.¹⁸⁴

Die Marktanalyse hat jedoch gezeigt, dass die Absatzzahlen für Luxuskarossen kaum über 100 Stück pro Jahr und pro Modell liegen. Falls jedoch pro Fahrzeug mehrere Rohrleitungen für verschiedene Funktionen (Kühlwasserführung, Ölführung, Führung der Elektroleitungen usw.) eingesetzt werden würden, wären Stückzahlen im Bereich von 1.000 Stück pro Jahr durchaus denkbar. Daher wird das Gesamtpotenzial der splineTEX-Technologie für Rohrleitungen im Luxussegment als hoch eingeschätzt. Eine enge Kooperation mit dem Lead-Kunden Bugatti ist dabei sehr sinnvoll und empfehlenswert, allerdings sollten auch andere Luxuskarossen-Hersteller, wie Bentley, Lamborghini, Porsche oder Ferrari als potenzielle Lead-Kunden in Betracht gezogen werden.

- **Gesamtpotenzialabschätzung splineTEX-Motorradrahmen**

Für den Einsatz von CFK, speziell im Motorradbereich, konnten bislang keine Studien gefunden werden.

Jedoch geht aus einem der Expertengespräche hervor, dass sich für die splineTEX-Technologie, speziell im Motorradbau, gute Anwendungsmöglichkeiten ergeben könnten.¹⁸⁵

Für den Einsatz von splineTEX als Gitterrohrrahmen wurde das technologische Risiko, aufgrund der hohen Sicherheitsrelevanz und der tragenden Funktion, als äußerst hoch eingeschätzt. Der hohe Forschungs- und Entwicklungsaufwand spielt dabei auch eine entscheidende Rolle. Das technologische Potenzial, sowohl für den sT-flex als auch den sT-plast, wird als hoch eingestuft.¹⁸⁶

¹⁸³ Vgl. Anhang 2

¹⁸⁴ Vgl. Anhang 3

¹⁸⁵ Vgl. Anhang 2

¹⁸⁶ Vgl. Anhang 3

Aus der Marktanalyse geht hervor, dass aktuell ein Hersteller Straßenmaschinen mit einem CFK-Rahmen, in einer Seriengröße von etwa 50 Stück pro Jahr, anbietet. Die Absatzzahlen des Motorrads MV Agusta Brutale liegen bei 6.100 Stück pro Jahr. So sind sowohl splineTEX-Motorradrahmen im Prototypenbereich bis zu 100 Stück pro Jahr, aber auch Stückzahlen von bis zu 10.000 Stück pro Jahr bei Serienfertigung denkbar. Das Gesamtpotenzial für splineTEX als Motorradrahmen wird den Analysen zufolge als hoch eingeschätzt, da sowohl Kleinserien als auch hohe Stückzahlen kaum mittels anderer Verfahren auf wirtschaftliche Weise realisiert werden können.

5.3.2 Gesamtpotenzialabschätzung Sport - Sektor

Für den Sportbereich wird, entsprechend der Studie von Roland Berger, kein signifikantes Wachstum für den breiten Einsatz von Faserverbundmaterial prognostiziert. Im Sportartikelbereich stehen neben der potenziellen Gewichtseinsparung auch die Optik und das Design des Bauteils im Vordergrund.

Um eine aussagekräftige Potenzialabschätzung für diverse Produkte im Sport-Sektor geben zu können, werden die Aussagen der Experten und Fachleute, das technologische Risiko, das technologische Potenzial sowie die Marktanalysen für die einzelnen Produkte herangezogen.

- **Gesamtpotenzialabschätzung splineTEX-Golf-Caddy**

Aus der in Kapitel 3.3 zitierten Studie der Unternehmensberatung Roland Berger geht hervor, dass für den Einsatz von Faserverbundwerkstoffen im Breitensport kein wesentliches Wachstum prognostiziert wird und somit dieser Bereich kein Volumentreiber für den Werkstoff CFK darstellt.

Aus den Gesprächen mit Fachleuten aus verschiedenen Bereichen geht hervor, dass für splineTEX gute Einsatzmöglichkeiten im Consumer- und Freizeitbereich prognostiziert werden. Demnach wären auch Sportartikel, hergestellt mit der splineTEX-Technologie, gut vorstellbar.¹⁸⁷

Aus der Technologiebewertung geht gerade für derartige Produkte ein niedriges technologisches Risiko hervor, da es sich bei den meisten dieser Produkte nicht um ein sicherheitsrelevantes Bauteil handelt. Auch ist für die Herstellung kein hoher Forschungs- und Entwicklungsaufwand nötig. Daher wurde auch das technologische Risiko für ein Golf-Caddy als niedrig eingestuft. Das technologische Potenzial wurde besonders für den sT-plast als hoch eingestuft, da dieser eine äußerst wirtschaftliche Bauteilherstellung für Golf-Caddys bietet.¹⁸⁸

Aus den Marktgegebenheiten geht hervor, dass bereits Golf-Caddys aus CFK angeboten werden. Allerdings weisen diese laut Aussagen einer Golf House Mitarbeiterin, aufgrund der unästhetischen Risse und Kratzer im Falle einer Beschädigung, keine allzu hohe

¹⁸⁷ Siehe Kapitel 5.1.1

¹⁸⁸ Siehe Kapitel 5.1.3

Kundenakzeptanz auf. Aus der Analyse der Golfspieler im deutschsprachigen Raum geht hervor, dass für die Serienproduktion von Golf-Caddys aus splineTEX eine Stückzahl von etwa 5.000 Stück pro Jahr realistisch ist.¹⁸⁹ Hohe Stückzahlen (>10.000 Stück pro Jahr) sind jedoch aufgrund der Aussagen der Studien nicht zu erwarten. Daher wird das Gesamtpotenzial für splineTEX-Golf-Caddys als mittel eingestuft.

- **Gesamtpotenzialabschätzung splineTEX-Ruder-Paddel**

Wie bereits erwähnt, wird für Sportartikel kein signifikantes Wachstum an CFK-Einsatz im Bereich der Sportartikel prognostiziert.

In den Experteninterviews wurde zwar nicht speziell die Anwendung eines Ruder-Paddels als möglichen Einsatzbereich für splineTEX genannt, jedoch ist der Einsatz von splineTEX im Freizeitbereich laut Aussagen der Fachleute generell gut vorstellbar.¹⁹⁰

Für ein Ruder-Paddel aus splineTEX wurde ebenfalls, wie auch für das Golf-Caddy, das technologische Risiko gering eingestuft, da auch hier kein sicherheitsrelevantes Bauteil vorliegt. Auch ist keine aufwendige Forschungs- und Entwicklungsarbeit zu leisten. Aufgrund der Gewichtseinsparung ist das technologische Potenzial des sT-flex als hoch gegenüber dem des sT-plast einzuschätzen. Auf dem Markt werden bereits diverse Ruder-Paddel mit CFK-Schäften unterschiedlicher Hersteller angeboten. Der Stückzahlbereich liegt dabei zwischen 700 und 900 Stück pro Jahr für ein Modell. Aufgrund der Studienaussagen und der geringen Jahresstückzahlen wird das Gesamtpotenzial für splineTEX als Ruder-Paddel als gering eingeschätzt.

5.3.3 Zusammenfassung Gesamtpotenzialabschätzung

In Tabelle 18 ist die Gesamtpotenzialabschätzung für einzelne Bauteile aus den vorherigen Kapiteln dargestellt. Für neue Anwendungen, wie in Kapitel 5.1.2 beschrieben, wurde eine Einschätzung des Gesamtpotenzials aufgrund eigener Erfahrung durchgeführt.

¹⁸⁹ Siehe Kapitel 5.2.2.1

¹⁹⁰ Siehe Kapitel 5.1.1

Tabelle 18: Potenzialabschätzung splineTEX¹⁹¹

	Studien	Experten- interviews	Techno- logisches Potenzial	Markt- einschätzung	Gesamt- potenzial	Erwartete Jahres- stückzahlen
Heckklappen- scharnier						(<100.000)
Rohrleitungen						(<1.000)
Motorrad- rahmen						(100 - 10.000)
Golf-Caddy						(<10.000)
Ruder-Paddel						(<1.000)
Sitz-Rahmen- konstruktion (Automotive)						(<1.000 Luxus- segment)
Sitz-Rahmen- Konstruktion (Luftfahrt)						(1.000 – 10.000)
Dachträger (Automotive)						(<1.000)
Prüfstand- technik						Prototypen- bereich
Rucksack- gestelle						(<1.000)
Kinderwagen- gestelle						(<1.000)
Einrichtungs- gegenstände						(<10.000)

¹⁹¹ Eigene Einschätzung aus Marktanalyse, Studienauswertung und technologischer Potenzialeinschätzung.

Es wird deutlich, dass das Haupteinsatzpotenzial, der splineTEX-Technologie im Bereich Automotive liegt. Dies liegt besonders an den hohen, zu erwarteten Jahresstückzahlen für die nächsten Jahrzehnte.

5.4 splineTEX - Markteintritt

Um die splineTEX-Technologie am Markt anzubieten, werden der Firma Thöni Empfehlungen für geeignete Wettbewerbs- und Marktstrategien gegeben.

Wie bereits in Kapitel 2.1.3 aufgezeigt wurde, stehen, für eine erfolgreiche Behauptung gegenüber konkurrierenden Unternehmen, folgende Strategien zur Verfügung:

- Strategie der Kostenführerschaft
- Strategie der Differenzierung (z.B. Differenzierung durch hohe Produktqualität)
- Konzentration auf Schwerpunkte (z.B. nur auf bestimmte Produkte oder Märkte)

In Kapitel 2.1.4 wurde aufgezeigt, welche verschiedenen Möglichkeiten für eine erfolgreiche Markteintrittsstrategie für Unternehmen zur Verfügung stehen:

- Marktdurchdringungsstrategie
- Marktentwicklungsstrategie
- Produktentwicklungsstrategie
- Diversifikationsstrategie

Dabei muss unterschieden werden, ob mit bereits bestehenden Produkten neue Märkte erschlossen werden sollen, oder ob, wie im Falle der splineTEX-Technologie, ein neues Produkt vorliegt, mit dem bestehende oder neue Märkte erschlossen werden sollen und somit evtl. dem Unternehmen neue Geschäftsfelder hinzugefügt werden.

5.4.1 Empfehlung für splineTEX - Wettbewerbsstrategie

Um sich sowohl gegenüber Unternehmen als auch gegenüber den OEMs, die jeweils, mit diversen Verfahren, splineTEX-ähnliche Bauteile herstellen, behaupten zu können, ist eine geeignete Wettbewerbsstrategie unerlässlich. Dabei bieten sich für die einzelnen Bauteile verschiedene Strategien an.

Für das Heckklappenscharnier kann generell ein klarer Vorteil durch die Strategie der Kostenführerschaft erreicht werden, da dieses Bauteil auch mittels anderer Verfahren, wie dem RTM-Schlauchblasverfahren, hergestellt werden kann. Sollte sich der Outliner jedoch, aufgrund seiner KTL-Tauglichkeit, als wichtiger und unerlässlicher Bestandteil bei der PKW Produktion herausstellen, ist zudem ebenfalls eine Differenzierungsstrategie durch dieses Alleinstellungsmerkmal möglich.

Die Herstellung von Rohrleitungen im Prototypenbereich (bis 100 Stück pro Jahr) ist mittels anderer Verfahren aufgrund einer Bauteillänge von zwei Metern aufwendig und teuer. Hier

empfiehlt sich auch die Strategie der Kostenführerschaft, um sich gegenüber anderen Verfahren einen deutlichen Wettbewerbsvorteil zu sichern.

Für die Fertigung des Motorradrahmens kann ebenfalls sowohl die die Strategie der Kostenführerschaft als auch eine Differenzierungsstrategie gegenüber dem Wettbewerb herangezogen werden. Gerade für Stückzahlen im Prototypenbereich (<100) ist die wirtschaftliche Herstellung von Motorradrahmen aus CFK-Strukturelementen mittels einem anderen Verfahren nur schwer möglich. Eine Differenzierungsstrategie in Form einer Qualitätsstrategie eignet sich hauptsächlich durch das Erreichen einer hohen Oberflächengüte, die durch eine naht- und gratfreie Herstellung von Motorradrahmen gewährleistet ist.

Für den Sportartikelbereich ist die Strategie der Kostenführerschaft zu empfehlen, da bereits Produkte aus CFK hergestellt werden, wie z.B. Golf-Caddys und Ruder-Paddel, die zu ähnlichen Preisen wie gleiche Produkte aus anderen Materialien, wie Titan oder Aluminium, angeboten werden. Daher ist ein Eintritt in diesen Bereich nur durch ein günstigeres Produkt bei gleichen Produktmerkmalen möglich, um von den Käufern akzeptiert zu werden.

Produktübergreifend wäre ebenfalls die Strategie der Fokussierung auf ein bestimmtes Segment, z.B. den Automotive-Bereich, denkbar, um diesen bestmöglich bedienen zu können. Diese Strategie könnte mit einer Konzentration auf maximal fünf Lead-Kunden unterschiedlicher Bereiche verfolgt werden, um auf deren Kundenwünsche optimal reagieren und eingehen zu können.

5.4.2 Markteintrittsempfehlung für splineTEX

Für den Markteintritt der splineTEX-Technologie können ebenfalls, wie auch für eine geeignete Wettbewerbsstrategie, mehrere Strategien in Betracht gezogen werden.¹⁹²

Aufbauend auf der strategischen Zielvorgabe der Firma Thöni Industriebetriebe GmbH, die den Aufbau einer Automotive-Serienproduktion von Faserverbundbauteilen für die splineTEX-Technologie beinhaltet, wird im Folgenden der Weg für eine mögliche Markteintrittsstrategie aufgezeigt.

¹⁹² Siehe Kapitel 2.1.4

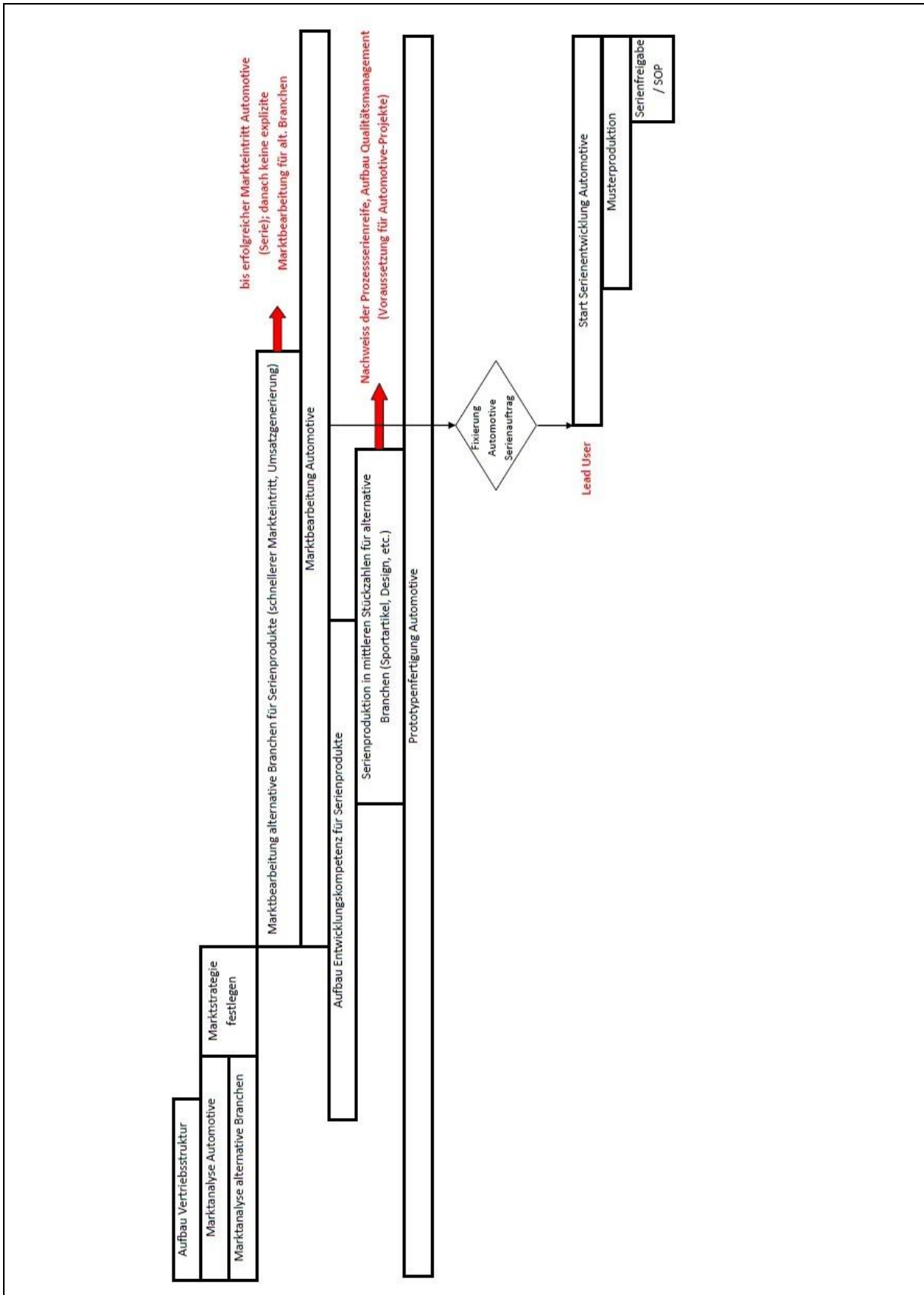


Abbildung 65: Markteintrittsstrategie splineTEX¹⁹³

¹⁹³ Interne Aktennotiz Schennach/Stolz

Wie auf Abbildung 65 dargestellt, beginnt die Markteintrittsstrategie mit umfangreichen Marktanalysen, sowohl des Automotivemarktes, als auch alternative Bereiche, wie sie auch im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden. Dabei ist es sinnvoll, den Fokus auf jene Produkte zu richten, bei denen die Alleinstellungsmerkmale der splineTEX-Technologie zum Tragen kommen.¹⁹⁴

Auch der Aufbau einer eigenen Vertriebsstruktur für splineTEX sollte angestrebt werden. Nach dem Festlegen einer geeigneten Marktstrategie, sollte die Marktbearbeitung für alternative Branchen (z.B. Sport, Design,...) für Serienprodukte, bei denen ein schnellerer Markteintritt als in den Automotivemarkt möglich ist. Dadurch kann durch die Serienproduktion von mittleren Stückzahlen (bis zu 10.000 Stück pro Jahr) der Nachweis für die Prozessreife der splineTEX-Technologie nachgewiesen werden und ein für den Automotive-Bereich ausreichendes Qualitätsmanagement aufgebaut werden. Parallel dazu sollte stetig eine Bearbeitung des Automotivemarktes durchgeführt werden. Durch die aktuelle Prototypenfertigung im Automotivebereich ist es möglich, Entwicklungskompetenzen für Serienprodukte aufzubauen. Nach dem erfolgreichen Markteintritt für Serienproduktion in den Automotivemarkt kann die Marktbearbeitung für alternative Bereiche eingestellt werden. Die frühzeitige Einbindung von neuen und aktuellen „Lead-Usern“ in den Entwicklungsprozess, beispielsweise durch gemeinsame Workshops, sollte angestrebt werden.¹⁹⁵ Neue „Lead-User“ können dabei durch Fachmesseauftritte, vorwiegend im Automobilbereich, akquiriert werden.

Auch die Errichtung eines Show-Rooms sollte in Erwägung gezogen werden, wodurch die splineTEX-Technologie und splineTEX-Produkte aktuellen und potenziellen Kunden und Interessenten vorgestellt werden können. Als Vorbild können hierbei die bereits bestehenden Aluwelten der Firma Thöni in Telfs dienen.

Bei dem Eintritt mit neuen Produkten in neue, dem Unternehmen unbekannt Märkte, handelt es sich um eine Diversifikation. Im Falle der splineTEX-Technologie handelt es sich um eine laterale Diversifikation, da bei dieser Innovation kein Zusammenhang zu aktuellen Produkten der Firma Thöni besteht. Bei der Diversifikationsstrategie besteht eine geringere Erfolgswahrscheinlichkeit als beispielsweise bei der Produktentwicklungsstrategie, bei der ein neues Produkt auf einem bereits bekannten Markt eingeführt wird. Allerdings können die Gewinnmargen bei Diversifikationen im Falle des Erfolgs deutlich höher ausfallen.¹⁹⁶

¹⁹⁴ Siehe Tabelle 3

¹⁹⁵ Siehe Kapitel 2.1.1

¹⁹⁶ Siehe Kapitel 2.1.4

6 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wird aufgezeigt, dass der Einsatz von Leichtbaumaterialien in den nächsten Jahren im industriellen Bereich signifikant steigen wird. Bereits heute werden etwa 90% aller verarbeiteten Leichtbaumaterialien, die in den drei großen Bereichen Automotive, Luftfahrt und Windenergie zum Einsatz kommen, in der Automobilindustrie verbaut, wie die Studie „Lightweight, heavy impact“, durchgeführt im Jahr 2012 von der Unternehmensberatung McKinsey&Company, aufzeigt. Dabei beträgt der Anteil an Leichtbaumaterialien am Gesamtmaterialeinsatz im Automotive-Sektor aktuell 29%. Es wird prognostiziert, dass sich der Anteil bis zum Jahr 2030 auf bis zu 67% erhöhen wird.

Im Luftfahrt-Sektor wird eine Erhöhung des Leichtbaumaterialanteils von 78% auf 85% bis 2030 erwartet.

Für den Windenergiebereich wird kein signifikantes Wachstum des Einsatzes von Leichtbaumaterialien prognostiziert, da in diesem Bereich bereits das Gewichtsoptimierungspotenzial komplett ausgeschöpft wurde.

Insgesamt wird der Leichtbaumarkt von einem aktuellen Volumen von jährlich 70 Milliarden Euro auf 300 Milliarden Euro im Jahr 2030 ansteigen.

Für den Einsatz des Werkstoffes CFK wird eine jährliche Wachstumsrate von 17% bis zum Jahr 2030 prognostiziert. Aktuell bietet CFK einen Gewichtsvorteil von 50% gegenüber vergleichbaren Bauteilen aus Stahl, bei gleicher Steifigkeit. Allerdings liegen die Herstellkosten für ein CFK-Bauteil mit dem Faktor 6 deutlich über den Kosten für ein vergleichbares Bauteil aus Stahl.

Ein hoher Einsatz von CFK im industriellen Bereich, wird aktuell noch durch die hohen Kosten für das Ausgangsmaterial, die Fasern sowie durch hohe Fertigungskosten gebremst. Allerdings wird bis zum Jahr 2030 eine deutliche Senkung der Kosten, sowohl für die Ausgangsmaterialien, als auch für die Fertigung, von 45% - 67% prognostiziert. Somit ist eine Annäherung der Fertigungskosten für ein CFK-Bauteil an die eines vergleichbaren Aluminiumbauteils bis zum Jahr 2030 realistisch und umsetzbar. Zu den Hürden der hohen Material- und Fertigungskosten für CFK kommen speziell für den Automotive-Bereich drei weitere Probleme, wie Reparatur und Instandhaltung, Recycling und Nachhaltigkeit sowie fehlende Crash-Simulationen, hinzu. Allerdings ist keines dieser Probleme ein „Knock-Out“-Kriterium für einen hohen Einsatz von CFK im Automobilbereich.

Die Motivation der Automobilhersteller für die vermehrte Verwendung von CFK liegt im Gewichtsvorteil gegenüber anderen Materialien, wie Stahl, und der daraus resultierenden Reduktion des durchschnittlichen CO₂ - Ausstoßes ihrer Fahrzeuge, wodurch gesetzlich drohende Strafzahlungen von bis zu 12.000 Euro pro Fahrzeug vermieden werden sollen. Dafür wird die schrittweise Senkung von derzeit durchschnittlich 140g CO₂, pro gefahrenem Kilometer, auf 95g/km bis zum Jahr 2020 und auf 75g/km bis zum Jahr 2030 angestrebt.

Der Einsatz von CFK in einer Großserie ab 100.000 Stück pro Jahr wird laut Studien nur für den Automobilbereich ab dem Jahr 2020 erwartet. In den anderen Bereichen, in denen CFK zum Einsatz kommt, wird eine Seriengröße von 1.000 bis 10.000 Stück pro Jahr prognostiziert.

Mit der splineTEX-Technologie der Firma superTEX ist es möglich, dreidimensional gekrümmte Faserverbundrohre in unterschiedlichen Durchmessern und unterschiedlichen Längen, ohne teure Formwerkzeuge, in wirtschaftlicher Weise herzustellen. Dieses Verfahren beruht auf einem innovativen Inliner und Outliner System. Dabei werden die Bauteile mittels Negativformen, partieller Formen, punktueller Fixierungen oder, je nach verwendetem Inliner, auch mittels plastischer Formgebung in die gewünschte Form gebracht. Zu den Stärken der splineTEX-Technologie zählen die trennnahtfreie Oberfläche mit Sichtoptik-Qualität, die seriennahe Prototypenproduktion sowie die sehr niedrigen Formwerkzeugkosten für Prototypen, im Vergleich zum RTM-Schlauchblasverfahren. Auch die Möglichkeit der Funktionsintegration des Inliners und Outliners, z.B. für Fluidführung, stellt einen Vorteil gegenüber ähnlichen Verfahren dar. Zu artverwandten Herstellverfahren von Faserverbundbauteilen zählen das RTM-Schlauchblasverfahren, das RTM-Verfahren in Kombination mit Flechtkernen, das BRAID Mandrel-Verfahren, das klassische Pultrusionsverfahren und das Pullcurve-Verfahren.

Als potentielle Mitbewerber für die Firmen superTEX und Thöni treten sowohl die OEMs, wie z.B. die BMW Group oder die Firma Teufelberger, aber auch viele kleine produzierende Unternehmen mit unterschiedlichen Herstellverfahren in Erscheinung.

Ein Materialkostenvergleich, durchgeführt zwischen dem RTM-Schlauchblasverfahren und der splineTEX-Technologie für ausgewählte Bauteile, ergibt einen leichten Materialkostenvorteil des RTM-Schlauchblasverfahrens gegenüber der splineTEX-Technologie. Dies resultiert hauptsächlich aus dem fehlenden Outliner beim RTM-Schlauchblasverfahren. Das Ergebnis einer Herstellkostendifferenzanalyse zwischen den beiden Verfahren zeigt auf, dass, aufgrund der hohen Formkosten des RTM-Schlauchblasverfahrens und den höheren angenommenen Fertigungskosten (infolge von Nachbearbeitungsschritten), ein deutlicher Herstellkostenvorteil bis zu einer Serienstückzahl von 10.000 Stück pro Jahr erreicht werden kann. Je nach Bauteil können auch Stückzahlen von etwa 50.000 Stück pro Jahr in wirtschaftlicher Weise mit splineTEX produziert werden. Da es sich bei der splineTEX-Technologie um eine Technology-Push-Innovation handelt, ist eine frühe und enge Zusammenarbeit mit „Lead-Usern“ während des Innovationsprozesses unverzichtbar. Dabei kann die Identifikation von „Lead-Usern“ beispielsweise auf Fachmessen erfolgen und eine gemeinsame Kooperation durch Workshops intensiviert werden. Dadurch kann eine erfolgreiche und kundengerechte Produktentwicklung gewährleistet werden.

Im Zuge dieser Arbeit wurden Experteninterviews mit Fachleuten aus verschiedenen industriellen Bereichen durchgeführt. Dabei wurde der Automobilbereich mehrfach als Hauptanwendungsbereich für die splineTEX-Technologie genannt, aber auch die Bereiche Sport und Freizeit, Architektur und Design sowie der Consumerbereich sind vorstellbar. Die splineTEX-Technologie ist dabei für Produkte wie Dachträger, Kinderwagen, Rucksackgestelle, Sitz-Rahmenkonstruktionen sowie Prüfstandaufbauten vorstellbar.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Gesamtpotenzial der splineTEX-Technologie für ein Heckklappenscharnier, für Rohrleitungen im Luxussegment, für einen Motorradrahmen, für ein Golf-Caddy sowie für ein Ruder-Paddel abgeschätzt. Demnach weisen, nach Auswertung von Studien über den Einsatz von CFK, nach Durchführung von Experteninterviews, nach

Abschätzen des technologischen Potenzials sowie einer Markteinschätzung, das Heckklappenscharnier, die Rohrleitungen sowie ein Motorradrahmen aus splineTEX ein hohes Gesamtpotenzial für die Umsetzung auf. Für das Golf-Caddy aus splineTEX, wurde ein mittleres Gesamtpotenzial abgeschätzt. Für das Ruder-Paddel wurde ein geringes Gesamtpotenzial abgeschätzt.

Ein sehr hohes Potenzial wird somit generell in folgenden Anwendungsbereichen gesehen:

- Prototypenbau für diverse Branchen und Kleinserien
- Rohrleitungen im Automotive-Luxussegment
- Komplexe Automotive Strukturbauteile mit hohem Längen/Durchmesser Verhältnis für mittlere Stückzahlen
- Motorrad-Rahmenbauteile für kleine bis mittlere Stückzahlen
- Diverse Nischenprodukte, wie z.B. Federn oder Griffe für Werkzeuge

Für eine Wettbewerbsstrategie im Prototypenbereich, empfiehlt es sich generell, produktübergreifend die Strategie der Kostenführerschaft zu verfolgen, um Wettbewerbsvorteile aufzubauen. Für Produkte, bei denen die Alleinstellungsmerkmale¹⁹⁷ der splineTEX-Technologie zum Tragen kommen, empfiehlt sich die Strategie der Differenzierung, um sich mit diesen Vorteilen deutlich gegenüber dem Wettbewerb zu positionieren.

¹⁹⁷ Vgl. Tabelle 3

Literaturverzeichnis

AVK – INDUSTRIEVEREINIGUNG VERSTÄRKTE KUNSTSTOFFE: Nachhaltigkeit von Faserverbundkunststoffen, Frankfurt am Main 2010

BAUER, U.: Marketing Management Lehrveranstaltungsskriptum, Graz 2013

BECKER, F.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre, Springer Verlag, Heidelberg 2006

BITTMANN, E.: Das schwarze Gold des Leichtbaus, Carl Hanser Verlag, München 2006

DURST, K.G.: Beitrag zur systematischen Bewertung der Eignung anisotroper Faserverbundwerkstoffe im Fahrzeugbau, Audi Dissertationsreihe, Band 3, 2008

E-MOBIL BW GmbH: Leichtbau in Mobilität und Fertigung, Stuttgart 2012

EHRENSTEIN, G.: Faserverbund-Kunststoffe, 2. Auflage, Erlangen 2006

ERMANNI, P.: Composites Technologien, Version 4.0, Zürich 2007

FIEDLER, R.: Controlling von Projekten, Wiesbaden 2005

FLEMMING, M.; ZIEGMANN, G.; ROTH, S.: Faserverbundbauweisen, Heidelberg 1996

GASSMANN, O; KOBE, C.: Management von Innovation und Risiko, 2. Auflage, Heidelberg 2006

HAUGK, B.; KOERBER, C.; DRECHSLER, K.: Faserverbundwerkstoffe im Werkzeugmaschinenbau: Identifikation potenzieller Anwendungen, Journal of Plastic Technology, Carl Hanser Verlag, München 2013

HENKEL, J.; JUNG, S.: The Technology-Push Lead User Concept: A New Tool for Application Identification, München/Wien 2009

HENNING, F.; MOELLER, E.: Handbuch Leichtbau, München und Wien 2011

HERSTATT, C.; LETTL, C.: Management von Technologie-getriebenen Entwicklungsprojekten, Arbeitspapier Nr. 5, 2000

HEUSS, R.; MÜLLER, N.; VAN SINTERN, W.; STARKE, A.; TSCHIESNER, A.: Lightweight, heavy impact, McKinsey Berlin 2012

HIERLING, M.: Innovationen im Sport – Technology Push oder Market Pull, München 2006

INGENIEUR WERKSTOFFE: Megatrend automobiler Leichtbau, Springer VDI Verlag, Düsseldorf 2012

- KAMENZ, U.: Marktforschung, 2. Auflage, Stuttgart 2001
- KOTLER, P.; ARMSTRONG, G.; WONG, V.; SAUNDERS, J.: Grundlagen des Marketing, 5.aktualisierte Auflage, München 2010
- LÄSSIG, R.; EISENHUT, M.; MATHIAS, A.; SCHULTE, R.; PETERS, F.; KÜHMANN, T.; WALDMANN, T.; BEGEMANN, W.: Serienproduktion von hochfesten Faserverbundbauteilen, Roland Berger München 2012
- MARKUS, S.; GEISTBECK, M.; NÄGELE, M.: Sicher - Kleben verbindet! Presseinformation des Fraunhofer IFAM, Bremen 2011
- MÜLLER, D.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre für Ingenieure, Heidelberg 2006
- NEITZEL, M.; MITSCHANG, P.: Handbuch Verbundwerkstoffe, München 2004
- OECHSLER Unternehmenspräsentation: Hochleistungsfaserverbunde in der Großserie, Ansbach 2012
- PORTER, M.E.: Wettbewerbsstrategie, 7. Auflage, New York und Frankfurt 1992
- SCHENNACH, O.: SMART COMPOSITE TUBE : Automatisierte Produktion von räumlich gekrümmten Faserverbundrohren, Telfs 2013 a
- SCHENNACH, O.: Abschlussbericht zu Projekt BMR industry, Telfs 2013 b
- SCHÄPPI, B.; ANDREASEN, M.; KIRCHGEORG, M.; RADERMACHER, F.-J.: Handbuch Produktentwicklung, Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, München 2005
- SCHILLFAHRT, C.: Der aktuelle Stand der splineTEX-Technologie, Telfs 2013
- SUPERTEX COMPOSITES GMBH BUSINESSPLAN, Telfs 2012
- THÖNI INDUSTRIEBETRIEBE GMBH: SMART COMPOSITE TUBE, Telfs 2012
- VELTEN, C.: Marktforschung als Erfolgsfaktor von VC-Gesellschaften, 1.Auflage, Lohmar 2010
- WECK, M.: Produktionstechnik für Bauteile aus nichtmetallischen Faserverbundwerkstoffen
- WIEDEMAN, J.: Leichtbau Elemente und Konstruktion, 3. Auflage, Heidelberg 2007
- WIEDEMAN, M.: CFK - Status der Anwendung und Produktionstechnik im Flugzeugbau, Braunschweig 2009

Onlinequellen

AIRLINE WORLD: Boeing 787 Dreamliner: Composite Airframe May Be Unsafe?, <http://airlineworld.wordpress.com/2007/09/24/boeing-787-dreamliner-composite-airframe-may-be-unsafe/>, Abfrage vom 09.04.2013

ALIBABA.COM: http://acutecomposites.en.alibaba.com/product/341307808-212950932/carbon_fiber_paddle_shaft.html, Abfrage vom 08.05.2013

ACUTE COMPOSITES CO.: <http://www.acutecomposites.com>, Abfrage vom 08.05.2013

AUTO MOTOR UND SPORT: Großer Leichtbau Report: Die Leichtigkeit des Seins, <http://www.auto-motor-und-sport.de/testbericht/grosser-leichtbau-report-die-leichtigkeit-des-seins3991347>, Abfrage vom: 06.03.2013

BILD DER WISSENSCHAFT: So schwer ist es mit der Leichtigkeit, http://www.bild-der-wissenschaft.de/bdw/bdwlive/heftarchiv/index2.php?object_id=32714169, Abfrage vom 29.04.2013

BIMMERTODAY: Leichtbau CFK: AUDI startet Partnerschaft mit Voith GmbH, <http://www.bimmertoday.de/2011/02/16/leichtbau-mit-cfk-audi-startet-partnerschaft-mit-voith-gmbh>, Abfrage vom 04.04.2013

BUGATTI: Prinzip Leichtbau, <http://www.bugatti.com/de/veyron/technik/struktur.html>, Abfrage vom 28.05.2013

COMPOSITE-SOURCING: Bladder Molding Advantage, <http://www.composite-sourcing.com/bladderadv.html>, Abfrage vom 15.04.2013

EADS: Airbus A350 XWB, <http://www.eads.com/eads/germany/de/unternehmen/Wer-wir-sind/Airbus/A350.html>, Abfrage vom 29.04.2013

FIBROLUX: Pultrusion – Das Verfahren, www.old.fibrolux.com/de/main/gfk-profile/pultrusion, Abfrage vom 02.02.2013

FRAUNHOFER IWU: Leichtbau durch Hybrid-Bauweisen, www.iwu.fraunhofer.de/content/dam/iwu/de/documents/Handzettel_Leichtbau_Hybridbauweisen.pdf, Abfrage vom 23.03.2013

GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON: Technology Push, <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/82800/technology-push-v4.html>, Abfrage vom 03.04.2013

B4DEVELOPEMENT.COM: Stage-Gate, <http://www.b4development.com/?p=1089>, Abfrage vom 15.05.2013

INDUSTRIEANZEIGER: Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK): Unschlagbar leicht und stabil - Im CFK-Valley Stade stricken Spezialisten am Super-Leichtbau, Stade 2006,

<http://www.industrieanzeiger.de/home/-/article/32571342/33787629/>, Abfrage vom 21.02.2013

INDUSTRIEANZEIGER: Roboter ersetzen chinesische Handarbeit,
http://www.industrieanzeiger.de/topbeitraege/-/article/32571342/37944386/Roboter-ersetzen-chinesische-Handarbeit/art_co_INSTANCE_0000/maximized, Abfrage vom 16.05.2013

LAWRIE TECHNOLOGY: Continuous Pull-Winding,
<http://www.lawrietechnology.com/cm.html>, Abfrage vom 04.04.2013

MARKTDING: Wettbewerbsstrategie-Porter, <http://www.marktding.de/strategie/wettbewerbsstrategie-porter-in-400-worten>, Abfrage vom 17.04.2013

MASCHINENMARKT: CFK hat sich als Champion im Hochleistungssport etabliert,
<http://www.maschinenmarkt.vogel.de/themenkanaele/konstruktion/werkstoffe/articles/388027>
Abfrage vom 29.04.2013

METALLTECHNIK-LEXIKON: IHU-Innenhochdruckumformen,
<http://www.metalltechniklexikon.de/ihu-innenhochdruckumformen>, Abfrage vom 26.03.2013

MOTORRAD ONLINE: Die neue Bimota DB7 Oronero <http://www.motorradonline.de/einzeltests/fahrbericht-bimota-db7-oronero/304706>, Abfrage vom 23.05.2013

MUNICH COMPOSITES: BRAID Mandrel, <http://www.munich-composites.de/index.php/kerntechnologie.html>, Abfrage vom 04.04.2013

SECAR TECHNOLOGY: <http://www.secar.at/index.php>, Abfrage vom 08.05.2013

SECAR TECHNOLOGY: Pullbraiding, http://www.secar.at/produkte/cfk-gfk_rohre.php,
Abfrage vom 04.04.2013

SGL AUTOMOTIVE CARBON FIBERS: <http://www.sglacf.de>, Abfrage vom 22.05.2013

SPIEGEL ONLINE: BMW-Karbonfabrik: Superfest, superleicht, superteuer,
<http://www.spiegel.de/auto/aktuell/leichtbauwerkstoff-karbon-bmw-fertigt-das-material-in-eigenregie-a-870839.html>, Abfrage vom: 05.12.2012

STATISTA: Marktanteil von BMW an der globalen Automobilproduktion in den Jahren 2000 bis 2011, <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/216562/umfrage/marktanteil-von-bmw-an-der-automobilproduktion/>, Abfrage vom 10.05.2013

STATISTA: Anzahl Golfspieler in D-A-CH, <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/6906/umfrage/europaeische-laender-nach-anzahl-der-golfclub-mitglieder>, Abfrage vom 11.05.2013

TEUFELBERGER COMPOSITE: Braiding – RTM – T-Igel Verbindung - Composite
http://www.teufelberger-composite.com/uploads/tx_txconceptdownloads/Composite_DE.pdf, Abfrage vom 16.05.2013

TU DRESDEN: MLU MW - Textile Hybridstrukturen/Bauteilherstellung,
<http://mlu.mw.tudresden.de/module/m004/bauteilherstellung/kombiniert/main.htm#verfahren>,
Abfrage vom 04.04.2013

TU WIEN: IHU-Bauteile, www.tuwien.ac.at/aktuelles/news_detail/article/3954, Abfrage vom
28.02.2013

VENGLE: Metallrohrbiegen, <http://www.veengle.com/s/Rohrbiegen.html>, Abfrage vom
04.04.2013

WIKIMEDIA COMMONS: Strangziehverfahren, [www.commons.wikimedia.org/
wiki/File:Strangzieverfahren.png?uselang=de](http://www.commons.wikimedia.org/wiki/File:Strangzieverfahren.png?uselang=de), Abfrage vom 04.03.2013

WIRTSCHAFTSLEXIKON GABLER: Market-Pull, [http://wirtschaftslexikon.gabler.de/
Archiv/82862/market-pull-v5.html](http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/82862/market-pull-v5.html), Abfrage vom 03.04.2013

WIRTSCHAFTSLEXIKON GABLER: Technology-Push, [http://wirtschaftslexikon.gabler.de/
Archiv/82800/technology-push-v4.html](http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/82800/technology-push-v4.html), Abfrage vom 03.04.2013

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gewichtsentwicklung VW Golf	1
Abbildung 2: splineTEX	3
Abbildung 3: Chancen gegenüber Gefahren eines Technology-Push-Projektes	7
Abbildung 4: Vergleich Informationsquelle Technology Push vs. Market Pull	7
Abbildung 5: Vorgehensweise „T-PLUC“-Ansatz	11
Abbildung 6: Der Marktforschungsplan	12
Abbildung 7: Wettbewerbsstrategien nach Porter	14
Abbildung 8: Produkt - Markt - Matrix nach Ansoff	15
Abbildung 9: Prozentuale Verteilung Erfolgswahrscheinlichkeit	16
Abbildung 10: Sandwichbauweise	18
Abbildung 11: Übersicht über die Werkstoffklassen	19
Abbildung 12: Vergleich Zugfestigkeit/Steifigkeit	20
Abbildung 13: Faserverbund im Überblick	21
Abbildung 14: Diverse Eigenschaften von verschiedenen Fasermaterialien im Vergleich	22
Abbildung 15: Vergleich diverser Eigenschaften von CFK und GFK	23
Abbildung 16: Herstellverfahren im Überblick	27
Abbildung 17: Entwicklung der Leichtbaumaterialien bis 2030	29
Abbildung 18: Leichtbaumaterialanteil	30
Abbildung 19: Bauteilgewicht im Vergleich mit Bauteilkosten gegenüber Stahl	31
Abbildung 20: Kostenszenarien für CFK-Bauteile im Automobilbereich 2010 - 2030	33
Abbildung 21: Kostenlücke zwischen CFK- und Aluminiumbauteilen 2010 - 2030	34
Abbildung 22: Gesetzliche Vorgaben und Strafzahlungen CO ₂ -Emissionen	36
Abbildung 23: Staffelung der Strafzahlungen bei CO ₂ -Emissionsüberschreitung	37
Abbildung 24: Verschiedene Möglichkeiten zur CO ₂ -Emissionssenkung	38
Abbildung 25: Definition der verschiedenen Lightweight Packages	38
Abbildung 26: Materialzusammensetzungen diverser Lightweight Packages	39
Abbildung 27: Zuordnung der Lightweight Packages zu den jeweiligen PKW-Klassen	40
Abbildung 28: Kostenstrukturveränderung bis zum Jahr 2020	41
Abbildung 29: Nachfragestruktur für CFK bis 2020	42
Abbildung 30: Entwicklung des Materialmix kommerzieller Großraumflugzeuge	43

Abbildung 31: Entwicklung des Fasermengenanteils bei Airbus und Boeing	44
Abbildung 32: CFK-Rumpf Airbus A350 XWB	45
Abbildung 33: CFK-Rumpf Boeing B787	46
Abbildung 34: Aufbau der splineTEX-Technologie.....	48
Abbildung 35: Verfahrensablauf sT-flex.....	50
Abbildung 36: Verfahrensablauf sT-plast.....	52
Abbildung 37: Schematische Darstellung des RTM-Schlauchblas-Verfahrens	55
Abbildung 38: Flechtmaschine bei Kernumflechtung	56
Abbildung 39: Prozessablauf Flecht kern.....	56
Abbildung 40: Schematische Darstellung des Pultrusionsprozesses	57
Abbildung 41: Herstellung pultrudierter Hohlprofile	58
Abbildung 42: Flechtprozess des Pullbraiding-Verfahrens.....	58
Abbildung 43: Pullwinding-Verfahren.....	59
Abbildung 44: BRAID Madrel- Verfahren	60
Abbildung 45: CNC-Metallrohrbiegemaschine	61
Abbildung 46: Bauteile mit IHU-Verfahren hergestellt.....	62
Abbildung 47: Vergleich von Konkurrenzverfahren mit splineTEX	63
Abbildung 48: Materialkostendifferenz sT-flex / sT-plast am Bsp. Heckklappenscharnier	71
Abbildung 49: Kostenvorteil durch Reduzierung der Outlinerwandstärke.....	71
Abbildung 50: Materialkostenunterschied splineTEX/RTM-Schlauchblasverfahren	72
Abbildung 51: Materialkostenvergleich Heckklappenscharnier splineTEX/RTM.....	74
Abbildung 52: Materialkostenvergleich Kühlwasserleitung splineTEX/RTM.....	74
Abbildung 53: Herstellkostendifferenz für Stückzahlen bis 5.000 Stück/Jahr	77
Abbildung 54: Herstellkostendifferenz für Stückzahlen bis 50.000 Stück/Jahr	78
Abbildung 55: Anzahl der Messekontakte.....	81
Abbildung 56: Anwendungsbereiche für die splineTEX-Technologie	81
Abbildung 57: Anteile der Anwendungsbereiche für splineTEX	82
Abbildung 58: Expertengespräch mit Experten aus dem Bereich Maschinenelemente	84
Abbildung 59: Marktübersicht ausgewählter Produkte	93
Abbildung 60: Marktanteil von BMW an der globalen Automobilproduktion 2000 bis 2011 ...	94
Abbildung 61: Diverse PKW der Oberklasse	95
Abbildung 62: Anteil BMW 6er und 7er am Oberklassensegment.....	96

Abbildung 63: Anzahl Golfspieler D-A-CH	99
Abbildung 64: Gesamtpotenzial splineTEX.....	101
Abbildung 65: Markteintrittsstrategie splineTEX.....	109

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich diverser Kriterien Technology-Push gegenüber Market-Pull	8
Tabelle 2: Verfahrensvarianten der Harzinjektionstechnik	26
Tabelle 3: Stärken der splineTEX-Technologie.....	53
Tabelle 4: Schwächen der splineTEX-Technologie.....	54
Tabelle 5: Ausgewählte Mitbewerber	65
Tabelle 6: Übersicht der spezifischen Materialkosten für weitere Analysen	67
Tabelle 7: Ausgewählte Projekte	68
Tabelle 8: Materialkostenzusammensetzung für Heckklappenscharnier sT-flex	68
Tabelle 9: Materialkostenzusammensetzung für Heckklappenscharnier sT-plast	69
Tabelle 10: Materialkostenzusammensetzung für Kühlwasserleitung sT-flex.....	69
Tabelle 11: Materialkostenzusammensetzung für Strukturelement Golf-Caddy sT-plast.....	70
Tabelle 12: Materialkostenzusammensetzung für Ruder-Paddel sT-flex	70
Tabelle 13: Vergleich Fertigung splineTEX / RTM-Schlauchblasverfahren	75
Tabelle 14: Zusammenfassung Experteninterviews.....	86
Tabelle 15: Neue Produkte und Anwendungsbereiche für die splineTEX-Technologie	87
Tabelle 16: Interne Bewertungskriterien für die splineTEX-Technologie	88
Tabelle 17: Bewertung splineTEX-Heckklappenscharnier	90
Tabelle 18: Potenzialabschätzung splineTEX.....	106

Abkürzungsverzeichnis

AFK	Aramidfaserverstärkter Kunststoff
Al	Aluminium
ARTM	Advanced Resin Transfer Moulding
B2B	Business to Business
B2C	Business to Customer
BEV	Battery Electric Vehicle
BMW	Bayerische Motoren Werke
bzgl.	bezüglich
CAGR	Compound Annual Growth Rate
CCeV	Carbon Composite eingetragener Verein
CF	Carbon Fiber
CFK	Carbonfaserverstärkter Kunststoff
CFC	Carbon Fiber Composite
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
D	Durchmesser
d.h.	das heißt
et al.	et alii
etc.	et cetera
evtl.	eventuell
e.V.	eingetragener Verein
EUR	Euro
exkl.	exklusive
F&E	Forschung und Entwicklung
FVK	Faserverstärkter Kunststoff
FVW	Faserverbundwerkstoff
GFK	Glasfaserverstärkter Kunststoff
g	Gramm

ggf.	gegebenenfalls
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HK	Herstellkosten
HSS	High Strength Steel
ICE	Internal Combustion Engine
IHU	Innenhochdruckumformen
inkl.	inklusive
kg	Kilogramm
km	Kilometer
KTL	Kathodische Tauchlackierung
Lfm.	Laufmeter
max.	maximal
Mg	Magnesium
MK	Materialkosten
OEM	Original Equipment Manufacturer
PAN	Polyacrylnitril
PE	Polyethylen
PKW	Personenkraftwagen
PP	Polypropylen
PVC	Polyvinylchlorid
R	Radius
REEV	Range Extended Electric Vehicle
RTM	Resin Transfer Moulding
S.	Seite
SMC	Sheet molding compound
sT-flex	splineTEX-flex
sT-plast	splineTEX-plast
TERTM	Thermal Expansion Resing Transfer Moulding
u.a.	unter anderem
UD	unidirektional

usw.	und so weiter
u.U.	unter Umständen
VARTM	Vacuum Advanced Resing Transfer Moulding
VI	Vakuum Injektionsverfahren
Vgl.	Vergleiche
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VW	Volkswagen
z.B.	zum Beispiel

Anhang

Anhang 1: Experteninterviews	127
Anhang 2: Lead-User-Gespräch Mitarbeiter Magna Steyr	129
Anhang 3: Technologiebewertung	130

Anhang 1: Experteninterviews

Experte Luftfahrttechnik TU Graz:

„Diese Technologie ist im **Flugzeugbau kaum realistisch einsetzbar**, da dort vorwiegend gelegte CFK-Matten verarbeitet werden, die anschließend in einem Autoklaven bei hohen Temperaturen ausgehärtet werden. Maximal in **Griffen oder Hebel** könnte dieser Werkstoff im **Luftfahrtbereich** verbaut werden. Ich sehe die Technologie **kaum automatisierbar** und eher im **Design oder Interieurbereich** einsetzbar. Ich denke, faserverstärkte Spritzgussbauteile haben einen Vorteil gegenüber splineTEX. Das **Festigkeits-/Gewichtsverhältnis** stufe ich als relativ **gering** ein. Auch die **Zug-, Druck- und Knickbelastung** ist als **kritisch** anzusehen. Im **Automobilbau** sehe ich **kein Potenzial für eine Serienreife**.“ (persönliches Gespräch vom 30.01.2013)

Dr. Thomas Karall - Lead Reseacher Lightweight Design (ViF – Graz):

"Diese Technologie hat ein breites **Anwendungsspektrum**, speziell für den Einsatz als **Rahmenstruktur** im Fahrzeugbau, Flugzeugbau und generell im Leichtbau. Für die Verwendung von Bauteilen mit größeren Stückzahlen wäre ein höherer Automatisierungsgrad sinnvoll und erstrebenswert. Als ähnliches Produkt fallen mir geflochtene und gewickelte Rohre, teilweise mit Krümmungsradien ein, die mittels **Pultrusion** und dem **Pullcurve-Verfahren** hergestellt werden. Sollte der **Aluminiumliner** eine **Duktilitätssteigerung** bewirken, eignet sich diese Technologie hervorragend für **Stahlsubstitution**." (persönliches Gespräch vom 30.01.2013)

Dipl. Ing. Christian Scartezzini (Institut Leichtbau TU Graz):

„Ich sehe **Anwendungspotenzial** im **Maschinenbau**, in der **Luftfahrtbranche**, im **Automobilbau** und der **Prüfstandtechnik**. Gerade für **Prüfstände**, wo **hohe Massenträgheiten** herrschen, werden **leichte Materialien** eingesetzt. Allerdings ist die Verwendung von Magnesium und Aluminium sehr teuer. Es wäre vorstellbar, **Prüfstandaufbauten aus splineTEX** zu realisieren. Generell ist **CFK** in der Gesellschaft als sehr **hochwertiges Material** angesehen, daher wäre gut denkbar, **splineTEX** für **Sichtbauteile** einzusetzen. **Nachteile** sehe ich in der **Energieaufnahme** und der nicht vorhandenen **Knautschzone**. Auch könnte ich mir **Sitzgestelle** aus **splineTEX** vorstellen. Die **Automatisierbarkeit** des Herstellungsprozesses schätze ich zwischen **80% und 100%** ein.“ (persönliches Gespräch vom 23.01.2013)

Dipl.Ing. Mathias Luxner- Staatlich befugter und beeideter Ingenieurkonsulent für Maschinenbau:

„Ich sehe das **Einsatzpotenzial** für diese Technologie eher im **Consumerbereich**, beispielsweise für **Kinderwagen** oder **Rucksackgestelle**. Auch den **Designbereich** könnte ich mir als Anwendungsbereich vorstellen, z.B. für **Lampen** und **Möbel**. Ebenfalls sind **große Freiformflächen** damit realisierbar. Im **Automobil- und Luftfahrtbereich** sehe ich lediglich die Verwendung als **Sitzkonstruktion** für realistisch.“ (persönliches Gespräch vom 15.02.2013)

Aussagen BMW Mitarbeiter Bereich Karosserie:

„Die **Stärken** der splineTEX-Technologie sehe ich in der **Produktion von Meterware einfacher Geometrie**. Ein wesentlicher **Vorteil** dieser Innovation ist das Herstellen von **Hohlkörpern ohne Kern**, da die Verfahren, die einen Kern verwenden, sehr aufwendig und komplex sind. Mit der splineTEX-Technologie können **Prototypen** sehr **seriennah** hergestellt werden.“ (24.04.2013)

Aussagen ALPEX Mitarbeiter Bereich F&E:

„Die Verteilung von CFK-Einsatz lag in den letzten Jahrzehnten immer bei 70% im Luft- und Raumfahrtbereich zu 30% im Automobilbereich. Erst in den letzten zwei Jahren hat sich eine Verteilung von 50:50 entwickelt. Ich denke, dieser Trend hält die nächsten 10 Jahre an, was danach kommt, kann man nicht voraussagen.“ (29.03.2013)

Experteninterview Assoc.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Enzinger Institut für Werkstoffkunde und Schweißtechnik:

„Es stellt sich die Frage, wie die Verbindung/Anbindung an Bauteile dieser Art stattfindet, da dieses Material nicht wie Stahl geschweißt werden kann. Ich sehe diese Technologie für hohe Stückzahlen für Anwendungen geeignet, bei denen die Kosten keine Rolle spielen. Hauptanwendungsbereiche sehe ich eher im privaten Bereich, z.B. als Griff für Schneeschaukel oder für Gartenwerkzeug. Generell sind die meisten Verfahren automatisierbar, auch dieses, jedoch muss sich der Aufwand (hohe Stückzahlen) lohnen. Das Splintern des Materials und die eingeschränkten und aufwendigen Reparaturmöglichkeiten sehe ich als kritisch an. Mögliche Anwendungsbereiche wären noch Dachträger, Fahrradträger oder Anhänger. Auch für Feuerwehrautos wäre das Material vorstellbar, da hier auch Gewichtsreduzierung ein Thema ist, um mehr Löschwasser zu transportieren.“ (persönliches Gespräch vom 12.05.2013)

Anhang 2: Lead-User-Gespräch Mitarbeiter Magna Steyr

superTEX Composites GmbH			
Bewertung diverser Eigenschaften der splineTEX-Technologie			
Bitte bewerten Sie die folgenden Fragen von 1 (unwichtig) bis 3 (sehr wichtig). Bitte gewichten Sie anschließend die 3 Fragen in jedem Block von 1 (am unwichtigsten) bis 3 (am wichtigsten).			
<u>Allgemeines</u>			
	Bewertung	Gewichtung	Ist diese Funktion für Sie unbedingt notwendig? (Ja/Nein)
Wie wichtig ist Ihnen die Möglichkeit der Funktionsintegration des Inliners/Outliners? Auf Kundenwunsch besteht die Möglichkeit, sowohl den Inliner als auch den Outliner am Bauteil zu belassen. Vorteile, die sich daraus ergeben, sind beispielsweise Korrosionsschutz, Fluidtauglichkeit sowie Schutz des CFKs für nachfolgende Prozesse.	1	1	Nein
Wie wichtig ist Ihnen die Möglichkeit, längliche 3-D Bauteile ohne aufwendigen Formenbau herzustellen?	3	3	Ja
Wie wichtig ist Ihnen eine gratfreie Oberfläche des Bauteils ohne Nachbearbeitung?	1	2	Nein
<u>Geometrie</u>			
Wie wichtig sind Ihnen unterschiedliche Querschnitte entlang des Bauteils?	3	2	Ja
Wie wichtig ist Ihnen eine Wandstärkenanpassung entlang des Bauteils?	2	1	Ja
Wie wichtig ist Ihnen die Fertigungsgenauigkeit bei Bauteilen?	3	3	Ja
<u>Sonstiges</u>			
Wie wichtig ist Ihnen die Möglichkeit der Verwendung von thermoplastischer Matrix?	1	1	Nein
Wie wichtig ist Ihnen eine hitzebeständige Matrix (für Brandschutz o.ä.)?	1	2	evtl.
Wie wichtig ist Ihnen die UV-Beständigkeit des Bauteils?	2	3	evtl.
Welche Vorteile fallen Ihnen noch zu dieser Technologie ein?			
Freigestaltete Rohrverformung			
Welche Nachteile gibt es aus Ihrer Sicht?			
Toleranzen			

Anhang 3: Technologiebewertung

TECHNOLOGIE																			
Branche	Anwendungsbereiche splineTEX	typische Seriengrößen (Anzahl der gleichartigen Produkte) in Stück/Jahr	Teilbereich	Material aktuelles Produkt	Gewichtersparnis Forderung	Sichtbauteil	sicherheitsrelevant	Produktentwicklung ja/nein (Engineering F&E)	Qualitätsanforderung	konstanter Querschnitt	3D-gekrümmt	Biegeverhältnis R/d (je kleiner desto höher technologisches Risiko)	Längen/Durchmesser-verhältnis L/d	Funktions-integration des Inliners/Outliners	Technologisches Risiko	technologisches Potenzial für splineTEX-flex	technologisches Potenzial für splineTEX-plast	Bemerkung	Aktuelle Interessenten / Kunden
Automotive	Haltegriffe für Bus/Bahn	500-2.000	Strukturbauteil	Stahl	4	Ja	4	Ja	5	Ja	Ja	>3	>30	Nein	hoch	hoch	hoch	Aufgrund der vergleichsweise geringen Seriengrößen kann splineTEX wegen der geringen Werkzeugkosten vorteilhaft eingesetzt werden. Falls das Mehrgewicht des sT-Plast vertretbar ist, ist auch hier für das splineTEX-Plast-Potenzial die Einstufung „hoch“ gerechtfertigt.	Motoplast, Schletter
Automotive	Türrahmenprofil	10.000-50.000	Strukturbauteil	Alu	5	Ja	5	Ja	5	Ja	Ja	2-3	>30	Nein	hoch	mittel	niedrig	Da es sich hier vorrangig um den Wunsch nach Gewichtseinsparung handelt, ist das Potenzial für den sT-Plast als gering einzustufen.	BMW
Automotive	Dachrahmenprofil	10.000-50.000	Strukturbauteil	Alu	5	Ja	5	Ja	5	Nein	Ja	2-3	>30	Nein	hoch	mittel	niedrig	Da es sich hier vorrangig um den Wunsch nach Gewichtseinsparung handelt, ist das Potenzial für den sT-Plast als gering einzustufen.	BMW
Automotive	Heckklappenscharnier	10.000-50.000	Strukturbauteil	Stahl	3	Ja	4	Ja	5	Ja	Nein	2-3	10-30	Ja	hoch	hoch	hoch	Falls die Funktionsintegration des Outliners (KTL-Tauglichkeit) möglich ist, gibt es kein vergleichbares Verfahren, mit dem Heckklappenscharniere aus CFK produziert werden können.	BMW 7er
Automotive	Rohrleitungen für Kühlmittel, Wasser, Öl	50-500	Rohrsysteme	Stahl	5	Nein	4	Ja	4	Nein	Ja	2-3	>30	Nein	mittel	hoch	niedrig	Für dieses Bauteil handelt es sich um sehr geringer Stückzahlen sowie lange Bauteile. Die Korrosionsbeständigkeit des CFK kommt hier zum tragen. Da es sich um eine reine Gewichtseinsparung (kein Sichtbauteil) handelt, ist das Potenzial für den sT-Flex als hoch anzusetzen.	Bugatti, Porsche, Audi Sport
Automotive	Sitzgestelle	50-500	sonstige PKW-Bauteile	Stahl	5	Nein	4	Ja	4	Ja	Ja	2-3	>30	Nein	mittel	hoch	hoch		faurecia - Automotive Seating, Johnson Controls
Automotive	Motorradrahmen	2.000-10.000	Strukturbauteil	Stahl	4	Ja	5	Ja	5	Ja	Ja	>3	>30	Nein	hoch	hoch	hoch		Magna Steyr für Ducati, MV Augusta
Luftfahrt	Türhebel	50-500	Hebel	Stahl	4	Ja	3	Nein	3	Nein	Nein	2-3	10-30	Nein	hoch	niedrig	niedrig		Eurocopter
Luftfahrt	Rohre für Leitungssysteme		Rohrsysteme	Stahl	5	Nein	5	Ja	4	Ja	Ja	2-3	>30	Nein	hoch	mittel	mittel		Rolls Royce
Sport	Golf-Caddy-Rahmen		Strukturbauteil	Alu, Titan	3	Ja	2	Nein	3	Ja	Ja	>3	10-30	Nein	niedrig	mittel	hoch		GiwaTec/Kiffe-Golf
Sport	Ruder-Paddel	500-2.000	Strukturbauteil	Alu	3	Ja	2	Nein	3	Ja	Ja	>3	>30	Nein	niedrig	hoch	mittel		Lettmann/Kober&Mo II
Design	Carbon Möbelgestell	50-500	Mobiliar	Stahl	2	Ja	2	Nein	3	Ja	Ja	2-3	>30	Nein	niedrig	hoch	hoch	Bei Möbelgestellen steht die Gewichtseinsparung eher im Hintergrund. Daher muss bei der Potentialfestlegung folgendes beachtet werden: Der sT-Plast eignet sich hier eher für geradlinie Designs, wobei sich der sT-Flex für frei formbare Designs eignet.	Reflex/Altek/Univ.-Bibl. Österreich/Kobleder/3XN
<p>Bewertungsschema: niedrig (1) - hoch (5)</p> <p>Bewertungsschema Potenzial:</p> <p>hoch: Es gibt keine vergleichbaren Produktionsverfahren im Faserverbundbereich, mit denen in wirtschaftlicher Weise die Produktanforderungen erfüllt werden können.</p> <p>mittel: Die Produktanforderungen können mit alternativen Produktionsverfahren teilweise und zu ähnlichen Kosten realisiert werden.</p> <p>niedrig: Die Produktanforderungen können mit alternativen Produktionsverfahren zu geringeren Kosten realisiert werden.</p> <p>Bewertungsschema technologisches Risiko:</p> <p>hoch: Biegeverhältnis < 2 oder Automotive-/Luftfahrtbereich, Sicherheitsrelevanz sowie Qualitätsanforderung > 4, Produktentwicklung: Ja;</p> <p>mittel: Biegeverhältnis 2 - 3 und Sport-/Automotivebereich, Sicherheitsrelevanz 3 - 4, Qualitätsanforderung 4, Produktentwicklung: Ja;</p> <p>niedrig: Biegeverhältnis > 3, Design-/Sportbereich, Sicherheitsrelevanz < 3, Qualitätsanforderung < 4, Produktentwicklung: Nein;</p>																			