Fachbericht

InnoFaser – Innovative Faserverbundbauteile für Neue Märkte

Michael Reinhold

2009

Mit einem Vorwort von Prof.em. Dr.-Ing. Dr.h.c. Manfred Flemming

© 2009 IFM – HSG

Michael Reinhold

InnoFaser

[Institut für Marketing]

St.Gallen: Januar 2009

(Fachbericht für Marketing 2009)

Alle Rechte vorbehalten. Copyright bei den Verfassern, CH-9000 St.Gallen 2009

Universität St.Gallen, Institut für Marketing, Dufourstrasse 40a,
CH-9000 St.Gallen

Fachbericht für Marketing 2009

Zusammenfassung

Der Kunstname **InnoFaser** steht für die Spitzentechnologie der **Innovativen Faserverbundwerkstoffe** und bezeichnet die Optimierung der Fertigungstechnologie für faserverstärkte Kunststoffe und deren professioneller Vermarktung. Der Bericht zeigt, dass es dank der engen **Zusammenarbeit von Marketing und Produktentwicklung im Leichtbau** gelingen kann, neue und attraktive Geschäftsfelder für eine bekannte Technologie zu erschliessen. Das Gebiet des Leichtbaus, einer Konstruktionsphilosophie, die maximale Gewichtsersparnis zum Zweck hat, ist sehr modern, denn es liefert einen der Lösungsansätze zum sparsamen Umgang mit den knapper werdenen Ressourcen Werkstoffe und Energie.

Ein methodischer **Beitrag zum Hightech Marketing** schliesst eine aktuelle Forschungslücke: Die traditionelle Marktforschung kann die Frage nach neuen, attraktiven Geschäftsfeldern für bekannte Technologien nicht beantworten. Sie kann nicht zeigen, in welchen Märkten welche wirtschaftlich relevanten, latenten Bedürfnisse existieren, die mit der zu vermarktenden Technologie befriedigt werden können. Die Aufgabe lautet zu einer Technologie die passenden Märkte und Kunden zu finden.

Zum Autor

Dr. phil. **Michael Reinhold** ist Diplom-Physiker und leitet das Kompetenzzentrum ›Hightech Marketing‹ und ›Marketing für Messen, Kongresse und Events‹ am Institut für Marketing (IFM–HSG). Er hat zwanzig Jahre Indus-trieerfahrung im Marketing und Management von Hightech-Industriegütern: zu Beginn in Marketing, Produktmanagement und Vertrieb, zuletzt als Leiter einer Business-Unit sowie eines KMU. Hinzu kommt eine mehrjährige Tätigkeit als Berater von Industrieunternehmen. Er ist Lehrbeauftragter für Betriebswirtschaftslehre an der Universität St.Gallen und für das Fach ›Marketing‹ am Departement Management, Technologie und Ökonomie (D-MTEC) der ETH Zürich sowie Referent in verschiedenen Weiterbildungsseminaren für Führungskräfte in St.Gallen und an der ETH. Zusammen mit Prof. Ch. Belz hat er 1999 das Buch »Internationales Vertriebsmanagement für Industriegüter« verfasst. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen Hightech Marketing (speziell Nanomarketing® – Marketing für die Nanotechnologie), Internationales Vertriebsmanagement, Marketing im Objektgeschäft und Messemarketing.

Dank

An dieser Stelle danken wir allen beteiligten Personen und Firmen, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Dazu gehören alle Kollegen und Partner des Interreg IIIa / KTI-Projekts Innofaser, die im Rahmen des Projekts wertvolle Beiträge zum Marketing der Advanced Composites lieferten und diese Arbeit tatkräftig unterstützten:

- **Prof. Clemens Dransfeld,** Institutsleiter, Institut für Kunststofftechnik Fachhochschule Nordwestschweiz
- **Prof. Dr.-Ing. Michael Niedermeier,** Hochschule Ravensburg-Weingarten
- **Prof. Dr.-Ing. Reinhard Winkler,** Leiter Forschungsbereich Werkstofftechnik, Hochschule Albstadt-Sigmaringen
- **Reto Frei**, Projektleiter, Institut für Kunststofftechnik Fachhochschule Nordwestschweiz
- **Thomas, Christoph und Niklaus Nägeli,** Mitglieder der Geschäftsleitung der Firma Nägeli Swiss AG, Seestrasse 4, CH-Güttingen
- Besonderer Dank gebührt der **KTI** (Kommission für Technologie und Innovation) des Bundesamtes für Berufsbildung und Technologie BBT, die diese Arbeiten förderten.
- Dank gilt auch dem **Amt für Wirtschaft des Kantons St.Gallen** und dem **Amt für Wirtschaft des Kantons Thurgau**, die eine Kostenbeteiligung an diesem Projekt im Rahmen ihres jeweiligen Standortförderungsgesetzes sprachen.

St. Gallen, Januar 2009

www.ifm.unisg.ch

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung und Anleitung 13
1.1 Hightech Marketing am IFM-HSG 13
1.2 Aufbau des Berichts 14

2 Zweck und Ziele des Projekts InnoFaser 16
2.1 Anstoss und Ziele Projekt InnoFaser 16
2.2 Nutzen und Vorteile faserverstärkter Kunststoffe 17
2.3 Projektpartner im Projekt InnoFaser 20
2.4 Entwicklungs- und Forschungsbedarf 21
2.5 Zusammenfassung der Projektziele 24

3 Faserverbundtechnik 26
3.1 Faserverbundwerkstoffe 26
3.1.1 Faserkunststoffverbunde (FKV) 26
3.1.2 Fasern 27
3.1.2.1 Glasfasern 27
3.1.2.2 Aramidfasern 27
3.1.2.3 Kohlenstofffasern 27
3.1.2.4 Weitere Faserarten 28
3.1.3 Kunststoffmatrix 28
3.1.3.1 Duromere 29
3.1.3.2 Thermoplaste 29
3.1.4 Aufbau eines Faserkunststoffverbundes 30
3.1.5 Herstellverfahren 30
3.1.5.1 Handlaminieren 30
3.1.5.2 Autoklavverfahren 31
3.1.5.3 Innendruckverfahren 31
3.1.6 Verbindungstechniken 32
3.1.6.1 Schlaufenverbindungen 32
3.1.6.2 Bolzenverbindungen 32
3.1.6.3 Inserts / Onserts (Outserts) 32
3.1.6.4 Klebungen 33
3.1.7 Technische Vorteile von Faserverbundwerkstoffen 33
3.1.8 Besonderheiten im Design und in der Produktion von FV-Bauteilen 37

4 Hightech Marketing Konzeption 38
4.1 Hightech Produkte und Märkte 38
4.2 Hightech Marketing 40
4.3 Hightech Marketing-Konzept 43
4.3.1 Marketingkonzepte für FV-Technologie und FV-Bauteile 47
4.3.1.1 Marketingkonzept für Anbieter von FV-Bauteilen 47
4.3.1.2 Marketingkonzept für Anbieter von FV-Technologie 48

5 Solutions Looking for a Problem 51
5.1 Solutions looking for a problem 51

5.2 Der Entwurf des Hightech Würfels 53

6 Produkte und Märkte für Faserverbundtechnologie 56
6.1 Bestehende Produkte und Märkte für Faserverbundbauteile 56
6.2 Wertschöpfungskette für Advanced Composites 61
6.3 Substitution bestehender Produkte mit Faserverbund 63
6.4 Expertengespräche Technik und Markt FV-Bauteile 65
6.5 Neue Produkte und Märkte für die FV-Technologie 66
6.6 Empfehlungen zum Markteintritt durch Hightech KMU 68
6.6.1 Hinweise zu den Produkt-/Markt-Kombinationen 70
6.6.2 Hinweise zu den möglichen Geschäftstypen 71
6.6.3 Hinweise zu den Geschäftsmodellen 74
6.6.4 Übersicht über die Projektphasen bei FV-Bauteilen 75

7 Technischer Fortschritt und Ausblick 78
7.1 Fortschritte in der Technik der Faserverbunde 78
7.2 Ausblick 79

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Kraftflusslinien im Femur-Oberschenkelknochen 10
Kohlefaserbauteil am Alphajet 11
Roboterarm (Fa. Nägeli Swiss AG) 18
Projektpartner InnoFaser 21
Schlaufenverbindung an einem Roboterarm (Fa. Nägeli Swiss AG) 32
Roboterarm mit Inserts, in Formwerkzeug (Fa. Nägeli Swiss AG) 33
Spezifische Festigkeit gegen die spezifische Steifigkeit (Elastizitätsmodul) von metallischen und nichtmetallischen Leichtbaustrukturwerkstoffen. 35
Vergleich Technologie- mit Produktmarketing 41
Hightech Marketing-Konzept 43
Spezifika im Marketingkonzept für die Anbieter von FV-Bauteilen 47
Spezifika im Marketingkonzept für die Anbieter von FV-Technologie 49
Hightech Würfel für Faserverbund 53
Klassische Produkte aus FV-Werkstoffen, geordnet nach Branchen 57
FV-Wertschöpfungskette; Quelle: Eigene Darstellung 62
Gesamtübersicht Produkte für das Reverse Engineering mit FV-Technologie mit Advanced Composites 67
Geschäftstypologie der FV-Verarbeiter (vgl. Backhaus/Voeth 2007, S. 202.) 71
Wichtige Dimensionen von Geschäftsmodellen 74
Phasenmodell und Erfolgsfaktoren für FV-Bauteile 76

Vorwort

Als Ende des vorigen Jahrhunderts in den 60-iger Jahren mit der Entwicklung der Hochleistungsfaserverbundtechnik begonnen wurde war es die Natur, die in vielen Varianten dazu anregte. Lassen Sie mich dazu zunächst kurz berichten.

Viele verschiedene damals neue Technologien, die zur Faserverbundtechnik wichtig waren, begannen sich gerade in dieser Zeit durchzusetzen und konnten dazu kombiniert werden, was wir heute moderne Faserverbundbauweisen nennen. Die neu entwickelte Methode der "finiten Elemente" erlaubte es erstmals anisotrope Strukturen, (d.h. solche, die in allen Richtungen unterschiedliche Eigenschaften haben) genau zu berechnen. Wenn wir bis dahin für eine Strukturberechnung noch mit wenigen statisch Unbekannten auskommen mussten, gelang es mit dieser Methode und dem Computer mit einigen hundert und bald auch mit tausenden Kraft- oder Verschiebungsgrößen zu rechnen und ein Bauteil in relativ kleine finite Strukturelemente zu zerlegen. Aber nicht nur die Berechnungstechnik machte zusammen mit dem Computer in der damaligen Zeit einen technologischen Sprung, sondern auch die Materialtechnik. Die Kohlefaser wurde in mehreren Varianten erfunden.

In dieser Zeit kam ich auf die Idee mit einer für die damalige Zeit sehr schwierigen und umfangreichen finiten Elementberechnung die Spannungen in einem Oberschenkelknochen zu analysieren. Der damalige, im Vergleich zu heute, noch relativ langsame Computer hatte an dieser Aufgabe mehrere Tage zu arbeiten. Die Auswertung der Ergebnisse und der Vergleich mit einem Schnitt durch den natürlichen Knochen (Bild 0-1) ergab eine überaus große Überraschung.

Die von uns errechneten Kraftflusslinien der Hauptspannungen verliefen im Kopf des Knochens (Femur) genauso wie die Knochenfasern. Der Knochen ist also von Natur aus in der Lage, aus sich selbst heraus eine Faserverbundstruktur aufzubauen, die optimal nach den Kraftflusslinien der inneren Kräfte verläuft. Dies stellt ein großes Wunder der Natur dar. Derartige Beispiele sind in der Natur zahlreich vorhanden.

Für mich als Flugzeugbauer entstand damals der Gedanke, dass wir auch Flugzeugstrukturen derartig anisotrop mit Hilfe von Fasern entwickeln sollten, wenn sie besonders leicht, fest und steif werden sollten. Hauptsächlich die neu erfundene Kohlefaser war hierfür besonders geeignet. Dies ging aus Bild 3-3 (Seite 31) des vorliegenden Berichtes hervor, welches ich 1974 in einem wichtigen Vortrag bei der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt veröffentlicht habe. Hier konnte man zeigen, dass die Kohlefaserverbunde besser als alle konkurrierenden Metalle waren, was mir jedoch damals von vielen Personen nicht geglaubt wurde.

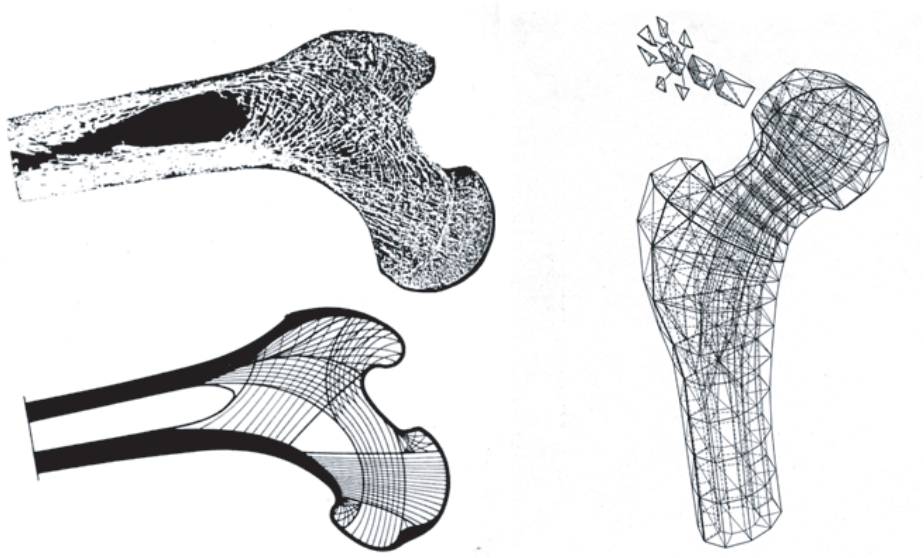

Bild 0-1: Kraftflusslinien im Femur – Oberschenkelknochen

Zur Einführung einer neuen Technologie kann man Überzeugendsten vorgehen, indem man ein stark belastetes Bauteil entwickelt, baut, und in die Serienpraxis einführt. Das war für die damalige Zeit nicht einfach, denn es gab noch zu wenige Materialdaten von den Kohlefasern. Auch die Langzeiterfahrungen waren eigentlich nicht ausreichend. Wir entschieden uns trotzdem die Bremsklappe für den Alphajet (Bild 0-2) als erstes hoch belastetes Kohlefaserbauteil in Serie herzustellen. Der Alphajet wurde gerade in dieser Zeit für die deutsche und französische Luftwaffe entwickelt. Da alles gut gelang, war der praktische Start der Kohlefaserverbundbauweisen vollzogen.

In der Folgezeit wurden weitere unterschiedliche Faserverbundbauweisen entwickelt, von denen im vorliegenden Bericht besonders eine herausgehoben ist, nämlich die Prepreg-Autoklavtechnik, die die Leistungsstärkste, aber in der Fertigung recht teuer ist. Weitere Bauweisen finden Sie in meinen Büchern über Faserverbundbauweisen (siehe Literaturhinweise 1–6 am Ende des Vorworts). Diese Bücher stellen das umfassendste Werk der diesbezüglichen Literatur dar.

Bild 0-2: Kohlefaserbauteil am Alphajet

Als Leiter des Strukturbereiches der Dornier-Werke wechselte ich 1985 zur ETH-Zürich über und konnte dort im großen Stil an dem von mir gegründeten Institut für Konstruktion und Bauweisen die Faserverbundtechnik fortsetzen. In dieser Zeitentstand auch über einen langen Zeitraum die Zusammenarbeit mit der hier im Bericht mehrfach erwähnten Schweizer Firma Nägeli, in der viele unterschiedliche Bauteile aus Faserverbund mit verschiedenen Bauweisen entstanden sind, so auch die in diesem Bericht mehrfach dargestellten Roboterarme. In der Vergangenheit sind in der Schweizer Industrie viele Erfahrungen entstanden.

Ein bisheriger Nachteil bezüglich der Faserverbundtechnik war, dass sehr viel in der Vergangenheit auf dem technologischem Sektor getan wurde, zu wenig aber auf dem Gebiet des diesbezüglichen Industrie-Marketings und des Vertriebsmanagements. Hier greift der vorliegende Bericht ein. Es muss in Zukunft auch in der Schweiz gelingen sich mit der Faserverbundtechnik stärker durchzusetzen. Hierfür gibt es eine große Palette von Möglichkeiten, die im vorliegenden Bericht erläutert sind.

Vor kurzer Zeit hat sich die Flugzeugindustrie in USA und Europa dazu entschlossen ihre gegenwärtigen und zukünftigen Flugzeuge aus Faserverbund zu entwikkeln und zu bauen. Das war ein riesengroßer Schritt, auf den die Faserverbundtechnologen jahrzehntelang gewartet haben. Diese Entscheidung wird Vieles nach sich ziehen. Sicher hat die Umweltdebatte Einiges dazu getan, diese Gedanken durchzusetzen. Die zukünftigen Flugzeuge werden daher leichter und damit Kraftstoff

sparender sein. Ein umfangreicher neuer Markt wird hierfür entstehen. Die in diesem Bericht dargestellten praxisorientierten Strategien werden zur Anwendung kommen.

‚InnoFaser' steht für die Spitzentechnologie der ‚Innovationen für Faserverbunde' und damit für die ‚Zusammenarbeit von Marketing und Produktentwicklung im Leichtbau'. Der vorliegende Bericht gibt hierzu einen ausgezeichneten, verständlichen und praxisnahen Leitfaden.

Nach dem Durchbruch der Faserverbundtechnologie in der Luft- und Raumfahrt stellt sich die Frage, wie es mit der Kraftfahrzeugindustrie weiter geht. Die Antwort dazu können wir heute noch nicht geben, aber durch die Umweltproblematik wird auch hier der Druck auf die zuständigen Firmen immer größer. Es stehen wichtige und bedeutende Entscheidungen an, bei denen die in diesem Bericht erklärten Vorgehensweisen zum Durchbruch in neue Technologiefelder helfen können, und das nicht nur für die Kraftfahrzeugfirmen, sondern auch für die gesamte Zulieferindustrie.

Es bleibt zunächst die Frage noch offen, wann es soweit ist, dass die Kraftfahrzeugkarosserien und die zugehörigen Teile in Großserie aus Faserverbund gebaut werden. Dann werden die zur Anwendung kommenden Bauweisen nicht nur durch die bereitgestellten Bauweisentechnologien der Faserverbundtechnik, sondern auch durch die in diesem Bericht **‚**InnoFaser - Innovative Faserverbundbauteile für neue Märkte' aufgeführten Methoden und Vorgehensweisen zum Einsatz kommen.

In diesem Sinne wünsche ich dem vorliegendem Bericht und den Firmen, die sich mit Faserverbunden beschäftigen, großen Erfolg und entsprechende Chancen in einem Markt, der sich stark im Wachsen befindet.

Prof.em. Dr.-Ing. Dr.h.c. Manfred Flemming

Standardwerke

1. M. Flemming, G. Ziegmann, S. Roth: Faserbundbauweisen, (Springer-Verlag), Fasern und Matrices (309 Seiten), ISBN 3-540-58645-8

2. M. Flemming, G. Ziegmann, S. Roth: Faserbundbauweisen, (Springer-Verlag), Halbzeuge und Bauweisen (334 Seiten), ISBN 3-540-60616-5

3. M. Flemming, G. Ziegmann, S. Roth: Faserbundbauweisen, (Springer-Verlag), Fertigungsverfahren mit duroplastischer Matrix (385 Seiten), ISBN 3-540-61659-4

4. M. Flemming, S. Roth: Faserbundbauweisen, (Springer-Verlag), Eigenschaften (615 Seiten), ISBN 3-540-00636-2

5. W. Elspass, M.Flemming: Aktive Funktionsbauweisen (Struktonik), (Springerverlag) (183 Seiten), ISBN 3-540-63743-5

6. Breiing, M.Flemming: Theorie und Methoden des Konstruierens, (Springer-Verlag) (255 Seiten), ISBN 3-540-56177-3

1 Einführung und Anleitung

1.1 Hightech Marketing am IFM-HSG

Das Kompetenzzentrum Hightech Marketing am Institut für Marketing der Universität St.Gallen (IFM-HSG) hat zum Ziel, den Einfluss und die Herausforderungen von neuen Technologien in Bezug auf das Marketing von Produkten und Dienstleistungen zu untersuchen, und hieraus Handlungsempfehlungen für die industrielle Praxis abzuleiten. Für viele Industriegüterhersteller und Technologiefirmen in entwickelten Märkten gilt es, erfolgreich mit Spitzentechnologien umzugehen, d.h. neben dem Standardgeschäft auch die Spielregeln des Hightech Marketing zu verstehen und erfolgreich anzuwenden.

Einige der Herausforderungen zwischen neuer Technologie und Vermarktung sind allgemeiner Natur: Dies beweist der vorliegende Bericht zum Praxisprojekt InnoFaser und die darin aufgezeigten Forschungsresultate.

Der Kunstname **InnoFaser** repräsentiert die Spitzentechnologie der **Innovativen Faserverbundwerkstoffe** und steht für die Optimierung der Fertigungstechnologie für faserverstärkte Kunststoffe und ihre professionelle Vermarktung. Dieser Fachbericht soll zeigen, dass es dank der engen **Zusammenarbeit von Marketing und Produktentwicklung im Leichtbau**[1] gelingen kann, neue und attraktive Geschäftsfelder für eine bekannte Technologie zu erschliessen. Das Gebiet des Leichtbaus, einer Konstruktionsphilosophie, die maximale Gewichtsreduktion zum Zweck hat, wird immer bedeutender, da es einen der Lösungsansätze zum sparsamen Umgang mit den knapper werdenden Ressourcen Werkstoffe und Energie liefert.

Ein methodischer **Beitrag zum Hightech Marketing** schliesst eine aktuelle Forschungslücke: Die traditionelle Marktforschung kann die Frage nach neuen, attraktiven Geschäftsfeldern für bekannte Technologien nicht beantworten. Sie kann nicht zeigen, in welchen Märkten welche wirtschaftlich relevanten, latenten Bedürfnisse existieren, die mit der zu vermarktenden Technologie befriedigt werden können. Die Aufgabe lautet, zu einer vorhandenen Technologie passende Märkte und Kunden zu finden. Wir entwickeln daher eine breit praktizierbare Methode, wie man systematisch und erfolgreich nach bisher unbekannten Produkten und Märkten für eine Technologie suchen kann. Wir wenden diese Methode auf die Faserverbundtechnologie an und stellen eine praxisrelevante Liste attraktiver Produkte und Märkte vor, deren Erschliessung sich lohnen sollte.

Dieser Forschungsansatz ist aktuell und praxisnah, und wir lernen ständig am Markt. Unsere Resultate sind daher vielfach noch nicht umfassend, hochpräzis und

1. Leichtbau ist gemäss Wikipedia eine Konstruktionsphilosophie, die maximale Gewichtseinsparung zum Ziel hat.

quantitativ empirisch gesichert. Die hier gewählte, problemorientierte Vorgehensweise in Projekten mit Industriepartnern und technischen Hochschulen oder Universitäten hat jedoch den Vorteil eines hohen Praxisbezugs, und fördert die Entwicklung spezifischer Marketinginstrumente und -methoden.

Klein- und Mittelunternehmen sind im Erschliessen neuer Märkte besonders gefordert, weil sie oft mit sehr knappen Ressourcen auskommen müssen. Dieser Bericht enthält daher spezielle Handlungsempfehlungen zur Markterschliessung für die Führung von Klein- und Mittelunternehmungen auf dem Gebiet der Faserverbundtechnologie. Die Arbeit soll als Entscheidungshilfe für den Ein- oder Umstieg in ein attraktives Gebiet dienen.

Mit unserer Arbeit wollen wir die Lücke zwischen dem Technologiemanagement und dem Marketing von Industriegütern oder industriegüter- und technologienahen Dienstleistungen weiter füllen. Für den Technologen ist der Markt von sekundärem Interesse, für den Marketingspezialisten bleibt die Technologie oft ein Buch mit sieben Siegeln. Der Spagat zwischen diesen beiden Welten ist spannend und eine echte Herausforderung: Wir haben diesen Bericht zum Nutzen beider Lesergruppen verfasst.

Möglich wurde dieser Beitrag zum Hightech Marketing nur durch die aktive Mitarbeit am Projekt InnoFaser. InnoFaser ist ein interdisziplinäres Projekt: Es wurde von vier Hochschulen aus Deutschland und der Schweiz in Zusammenarbeit mit einem Schweizer Industriepartner in der Zeitspanne von Anfang Oktober 2006 bis Ende des Jahres 2008 abgewickelt. Die schweizerische KTI und die deutschen Interreg IIIA sowie die Kantone St.Gallen und Thurgau förderten das Projekt mit namhaften Beiträgen[2].

Das folgende Kapitel beschreibt den Zweck des Projekts **InnoFaser**, stellt es in einen Bezugsrahmen zum **Hightech Marketing** und erläutert den Nutzen der Ergebnisse für die betriebliche Praxis in kleinen und mittleren Unternehmen.

1.2 Aufbau des Berichts

Im nächsten Kapitel zwei legen wir Ziel und Zweck des Projekt InnoFaser dar, geben Hinweise zur Projektorganisation und erläutern die besonderen Herausforderungen, vor die wir aus Sicht von Technik und Marketing gestellt waren.

Im daran anschliessenden Kapitel drei fassen wir die wichtigsten materialtechnischen Grundlagen der Fertigung und Produktion von Faserverbundbauteilen zusammen, damit sich der Leser ein Bild über die Komplexität der Faserverbundtechnologie im Vergleich z.B. zur Metallbearbeitung machen kann.

2. Vgl. Projektanträge KTI und Interreg IIIA der Partner

Darauf aufbauend entwickeln wir im Kapitel vier auf der Basis eines bestehenden Hightech Marketingkonzepts spezielle Konzepte für die Vermarktung von Faserverbundbauteilen und der Faserverbundtechnologie.

Eine besondere Herausforderung des Projekts war es, für eine bestehende Technologie (Faserverbundbauweisen) neue Produkte und Märkte zu finden. Dazu wurde eigens eine Methodik des Instituts für Marketing der Universität St. Gallen weiterentwickelt. Sie wird im Kapitel fünf vorgestellt.

Das sechste Kapitel fast zuerst die wichtigsten Fakten zu bestehenden Produkten und Märkten für Faserverbundbauteile zusammen. Danach wird mit Hilfe der Methodik aus Kapitel 5 die Liste derjenigen Faserverbund-Produkte und -Märkte entwickelt, die aus Sicht der am Projekt beteiligten Spezialisten neu erschlossen oder intensiver bearbeitet werden sollten. Für Um- und Neueinsteiger in die Faserverbundtechnologie gilt es, den Markterfolg durch geeignete Marktetingmassnahmen abzusichern. Hierzu bietet dieses Kapitel wichtige Informationen, weil es – in Ergänzung zur Hightech Marketingkonzeption in Kapitel 4 – wichtige Entscheide und Erfolgsfaktoren im Faserverbundgeschäft auflistet und diskutiert.

Wir schliessen diese Arbeit mit einer Zusammenfassung der erzielten Fortschritte hinsichtlich der Fertigungstechnologie und Wirtschaftlichkeit sowie einem Ausblick auf zukünftige Entwicklungen.

2 Zweck und Ziele des Projekts InnoFaser

2.1 Anstoss und Ziele Projekt InnoFaser

Anstoss für das Projekt **InnoFaser** ist die Erkenntnis, dass sich faserverstärkte Kunststoffe – Kunststoffe mit Fasern aus Glas-, Kohlenstoff- oder Aramid – seit langem ausgezeichnet in der Luft- und Raumfahrt sowie im Bootsbau bewähren. Die Kundenanforderungen dieser Branchen sind seit etwa fünfzig Jahren die eigentlichen Treiber der Werkstofftechnologie.

Bislang hemmen hohe Entwicklungs-, Produktions- und Werkstoffkosten die breite Einführung in Massenmärkten wie Automobilbau, Maschinenbau, Medizintechnik und langlebigen Konsumgütern. Ein Ziel des Projekts ist es, auf ausgewählten Märkten einen Durchbruch in fertigungstechnischer und wirtschaftlicher Hinsicht zu erzielen.

Die Herstellung von Faserverbundbauteilen beinhaltet noch viel Handarbeit, lässt sich nicht einfach automatisieren und Skaleneffekte spielen bisher eine geringe Rolle. Dies sind gute Voraussetzungen für die Umsetzung durch zahlreiche kleine und mittlere Unternehmen und damit für die lokale Wertschöpfung, obgleich auch hier tendenziell eine Abwanderung der Produktion in Billiglohnländer zu beobachten ist.

Damit Schweizer und Deutsche KMU in diesen Märkten auch zukünftig erfolgreich operieren können, braucht es neben der kontinuierlichen Weiterentwickung der Technik zur Senkung der Fertigungskosten auch das Marketing zur Identifikation, Bewertung und nachhaltigen Erschliessung neuer, attraktiver Anwendungen und Märkte.

Im Vordergrund der vorliegenden Arbeit steht das Marketing für faserverstärkte Kunstoff-Bauteile und nicht die Optimierung der industriellen Fertigungstechnik. Die Technik wird insofern berücksichtigt, als sie die Leitplanken für das industriell Realisierbare vorgibt.

Die in der Fertigungstechnik erzielten Resultate dieses Projekts sind an anderer Stelle dokumentiert. Sie sind jedoch nicht öffentlich zugänglich, weil eine Geheimhaltungsvereinbarung der Projektpartner dies verbietet. Geheimhaltungsvereinbarungen sind zwingender Bestandteil eines jeden KTI-Projekts.

Im Folgenden verknüpfen wir die Erkenntnisse aus dem Hightech Marketing mit den Projektzielen und zeigen die Methodik auf, mit der die marktbezogenen Fragen erfolgreich angegangen wurden.

2.2 Nutzen und Vorteile faserverstärkter Kunststoffe

Faserverstärkte Kunststoffe haben sich vor allem in Hightech-Branchen bewährt. Ein besonderer Vorteil dieser Werkstoffklasse liegt in der Tatsache, dass entweder komplexe oder monolithische Hohlkörperstrukturen hoher Funktionsintegration kraftflussgerecht dargestellt werden können. Der Stand der Technik orientiert sich dabei vor allem an Produktionsverfahren der Luft- und Raumfahrt, die jedoch aufgrund der hohen Fertigungs- und Werkstoffkosten noch nicht auf Massenmärkte übertragbar sind.

Diese Kosten werden erst dann auf breiter Front sinken, wenn die Skaleneffekte einer Massenfertigung zum Tragen kommen. Aus der Diffusionstheorie von Innovationen ist bekannt, dass sich Innovationen im Werkstoffsektor relativ langsam in Märkten ausbreiten[3]. Dazu zwei Gründe: Die Faserverbundstoffe stehen am Anfang der Wertschöpfungskette von Gütern, und entsprechend hoch ist der Kostendruck in der Beschaffung. Produktentwickler sind beim Ersatz von bekannten und erprobten Werkstoffen durch innovative Materialien eher zurückhaltend, weil damit oft unkalkulierbare Risiken verbunden sind, wie beispielsweise Prognosen über das Langzeitverhalten und hiermit zusammenhängende Fragen der Produkthaftpflicht.

Von besonderem Interesse bei Bauteilen in Faserverbundtechnologie[4] ist die Klasse der Hohlkörper aus CFK[5], die aufgrund ihrer spezifischen Materialeigenschaften (hohe Zugfestigkeit, Steifigkeit, Dauerhaftigkeit und Korrosionsbeständigkeit bei geringem Gewicht) eine maximale technische Performance als Alleinstellungsmerkmal erreichen. Unter Ausnutzung des vorhandenen Bauraumes und gezielter Ausrichtung der Faserorientierung sind leichte und zugleich hochfeste Strukturen realisierbar, die metallische Lösungen markant übertreffen. Die Herstellung von Hohlkörpern ist mit den bekannten Verfahren jedoch sehr aufwändig und daher auf Bauteile der Maschinenindustrie nur bedingt anwendbar.

Ein ausgezeichnetes Praxisbeispiel für den vorteilhaften Einsatz von CFK-Hohlkörpern ist ein Roboterarm für Verpackungsmaschinen[6] (siehe Bild 2-1). Hier ersetzt ein CFK-Bauteil eine solches aus Aluminium und reduziert das notwendige Drehmoment um 40%. Erstens führt das wegen der viel geringeren zu beschleunigenden Massen zu einer Energie- und Kosteneinsparung, weil kleinere Motoren verwendet werden können. Das reduzierte Drehmoment für die Bewegung ermöglicht kombiniert mit der höheren Steifigkeit des Bauteils zweitens viel grössere

3. Vgl. Rogers, E. (2003): Diffusion of Innovations, 5th ed., New York: Free Press, p. 219 ff.
4. Faserverbund wird im folgenden mit FV abgekürzt
5. CFK: Verbundwerkstoff aus Kohlenstofffasern mit einer polymeren Matrix ((C)-Kohlenstofffaser verstärkter Kunststoff, [Michaeli/Wegener, 1989 p. 169].
6. Der Roboterarm wurde von der Firma Dyne Design Engineering GmbH in Kreuzlingen entwickelt. Er wird von der Fa. Nägeli Swiss AG in Güttingen produziert, die Partner in diesem Projekt ist, und wird von der Firma Schubert in DE-Crailsheim in Verpackungsanlagen erfolgreich integriert.

Beschleunigungen, und damit letztlich einen wesentlich höheren Materialdurchsatz des Robotersystems. Diese Gegebenheiten stellen einen enormen Fortschritt dar, denn die jährlichen Performance-Verbesserungen, basierend auf Roboterarmen aus Metall, lagen bislang im niedrigen Prozentbereich.

Der Roboterarm diente im vorliegenden Projekt als Referenzobjekt im technischen Teil, mit dem Ziel, die Herstellkosten um 30% zu senken.

Das jährliche Volumen dieses Bauteils beläuft sich auf bis zu 300 Stück oder rund eine Million Franken. Allerdings müssen die Produktionskosten, die deutlich über der Ausführung aus Aluminium liegen, noch um ca. 30% gesenkt werden.

Bild 2-1: Roboterarm (Fa. Nägeli Swiss AG)

Dem mit CFK-Hohlkörpern technologisch Möglichen stehen derzeit nur wenig konkrete Bedürfnisse der Anwender oder bekannte Massenmärkte gegenüber. Die potenziellen Anwender kennen entweder die materialtechnischen Besonderheiten und Vorteile dieser Werkstoffe nicht, oder sie haben deren Einführung bisher nicht in Betracht gezogen, weil sie als zu teuer und exotisch gelten.

Aus technologischer Sicht bietet der Einsatz von FV-Bauteilen[7] zusammenfassend viele **Vorteile**[8]:

7. FV-Bauteile: Abkürzung für Faserverbund-Bauteile

- **Mechanische Dehnung**: Bauteile aus glasfaserverstärktem Kunststoff lassen beispielsweise wesentlich höhere Dehnungen zu als Metalle
- **Wärmedehnung**: sie ist in Grenzen einstellbar (z.B. im Satelliten- und Antennenbau)
- **Anisotrope Eigenschaften**: das Bauteil verhält sich je nach Beanspruchungsrichtung mechanisch unterschiedlich (u. U. Materialersparnis im Druckbehälterbau und anderen Branchen)
- **Hohe Steifigkeit** bei geringem Gewicht (z.B. Anwendung in Roboterarmen, Flugzeugbau, Rennfahrt usw.)
- **Gute Dämpfungseigenschaften und hohe Dauerfestigkei**t (z.B. für Textilmaschinen, Bettfedern, Velorahmen etc.)
- **Medienbeständigkeit (**z.B. gute Chemikalienbeständigkeit für den Rohrleitungsbau in der Chemie; jedoch bestehen bei organischen Lösungsmitteln Einschränkungen)
- **Multifunktionale Bauweise**: mehrere Aufgaben/Funktionen können von einem Bauteil gleichzeitig übernommen werden
- **Verringerte Fertigungskosten**; auch dank Multifunktionalität
- Fast **beliebige Formgebung** möglich (Einschränkung: es sind Schalenmodelle notwendig)
- **Hohe Lebensdauer**.

Dem Konstrukteur steht dank Bauteilen aus FV eine wesentlich grössere Vielzahl von Möglichkeiten zur Lösung spezieller Probleme zur Verfügung als mit herkömmlichen Werkstoffen.

Die Vorteile der Faserverbundtechnologie kommen beispielsweise im Fahrzeugbau zum Tragen[9]. Bisher blieb ihr dort jedoch der Markterfolg auf breiter Front, z.B. im Bau von Automobilen oder Schienenfahrzeugen, versagt. Das weist auf gewisse **Nachteile** hin, wie beispielsweise:

---

8. vgl. Standardwerke:
   1. M. Flemming, G. Ziegmann, S. Roth: Faserbundbauweisen, (Springer-Verlag), Fasern und Matrices (309 Seiten), ISBN 3-540-58645-8;
   2. M. Flemming, G. Ziegmann, S. Roth: Faserbundbauweisen, (Springer-Verlag), Halbzeuge und Bauweisen (334 Seiten), ISBN 3-540-60616-5;
   3. M. Flemming, G. Ziegmann, S. Roth: Faserbundbauweisen, (Springer-Verlag), Fertigungsverfahren mit duroplastischer Matrix (385 Seiten), ISBN 3-540-61659-4;
   4. M. Flemming, S. Roth: Faserbundbauweisen, (Springer-Verlag), Eigenschaften (615 Seiten), ISBN 3-540-00636-2;
   5. W. Elspass, M.Flemming: Aktive Funktionsbauweisen (Struktonik), (Springerverlag) (183 Seiten), ISBN 3-540-63743-5;
   6. Breiing, M.Flemming: Theorie und Methoden des Konstruierens, (Springer-Verlag) (255 Seiten), ISBN 3-540-56177-3;
9. Kochendörfer R., Treffinger P., Gräf M., Nedele M. "Auf dem Weg zum emissionsfreien Fahrzeug" – Beiträge des DLR Stuttgart, 5. Internationale Stuttgarter Symposium, 20.-22.2.2003, Stuttgart .

- Die **industrielle Grossserienfertigung** stellt aus Gründen der Taktzeiten und Fügung eine grosse Herausforderung dar
- **Defizite bei der numerischen Simulation** (Crashverhalten), dies obwohl **Formel 1** Rennfahrzeuge zeigen, dass im Crashfall CFK-Zellen höchste Sicherheit bieten
- **Unbekanntes Langzeitverhalten** von stark beanspruchten Übergängen; Klebestellen müssen im Fahrzeugbau mindestens 40 Jahre halten
- Wegen der Anisotropie der Bauteile ist die Berechnung des **Materialverhaltens für unterschiedliche Lastfälle** äusserst aufwändig
- Die **genaue räumliche Ausrichtung** von unterschiedlichen Faserlagen lässt sich nach der Produktion schlecht kontrollieren, was im Schadensfall jedoch entscheidend sein könnte
- Die **Entflammbarkeit** der Kunststoffmatrix und organischer Fasern ist je nach Anwendungsfall nicht hoch genug
- **Wartung und Reparatur**: Hochbeanspruchte Teile müssen im Schadensfall integral ersetzt werden
- Es sind noch nicht alle Fragen im Zusammenhang mit dem **Recycling und den Stoffkreisläufen** geklärt.

Trotz dieser Einschränkungen steht ausser Frage, dass sich die FV-Bauweisen längerfristig auch im Fahrzeugbau durchsetzen werden. In vielen Fällen gibt es gar keine Werkstoffalternativen: So benötigen die Grossraumflugzeuge der neuesten Generation zwingend Strukturen aus Faserverbund.

2.3 Projektpartner im Projekt InnoFaser

Die Durchführung des Projekts **InnoFaser** basiert auf einem Netzwerk von Hochschulen in der Bodenseeregion: HS Ravensburg-Weingarten, HS Albstadt-Sigmaringen, Universität St.Gallen und FH-Nordwestschweiz. Weiterer Projektpartner ist die Firma Nägeli AG in Güttingen/TG, die sich als Innovator auf diesem Gebiet einen ausgezeichneten Ruf erworben hat. In Bild 2-2 sind die Projektpartner mit ihren Hautpverantwortlichkeiten dargestellt.

Die arbeitsteilige Hauptaufgabe der drei Fachhochschulen bestand darin, einen Durchbruch hinsichtlich der Fertigungstechnologie und der wirtschaftlichen Fertigung zu erzielen. Aufgabe des Instituts für Marketing und der Universität St.Gallen war es, in Kooperation mit den Spezialisten aus der Technik, neue Produkte und Märkte für die Faserverbundtechnologie zu identifizieren und zu bewerten. Der Industriepartner lieferte nicht nur den wichtigen technischen und betriebswirtschaftlichen Input, sondern er diente auch als Referenz für die Anwendbarkeit neuer Ideen.

Bild 2-2: Projektpartner InnoFaser

Kritischer Erfolgsfaktor für die erfolgreiche Abwicklung war, neben der professionellen Organisation und Abwicklung, die enge Zusammenarbeit aller beteiligten Personen sowie die guten persönlichen und beruflichen Kontakte, die schon früher bestanden. Dies führte zu einem wertvollen Austausch und zu vielen stimulierenden Inputs, und trieb damit den Forschritt dieses anspruchsvollen, interdisziplinären Projekts voran.

2.4 Entwicklungs- und Forschungsbedarf

In einer grossen Zahl von Leichtbauanwendungen stellt der Hohlkörper die ideale Typologie dar um den effizientesten Materialeinsatz zu gewährleisten. Doch gerade die Herstellung solcher Bauteile ist schwierig und erfolgt oft durch das nachträgliche Fügen von Halbschalen, was umständlich und teuer ist, und zudem zu Lasten des Gewichts geht.

Im Bereich von langlebigen Konsumgütern aus CFK, wie Tennisschlägern oder Mountainbikerahmen, wird in einer sehr arbeitsintensiven Fertigungstechnologie produziert. Als im Verlauf der Jahre die Nachfrage nach solchen Gütern rapide zunahm, reagierten die Hersteller durch Auslagerung auf den damit verbundenen Kostendruck, indem sie die Produktionsstandorte nach Osteuropa oder Asien ver-

lagerten. Derselbe Trend lässt sich auch in der Luftfahrt beobachten, so wird ein bedeutender Anteil der primären Strukturkomponenten der Boeing 787 in Asien gefertigt.

Um die heimischen Standorte für diese Schlüsseltechnologie zu sichern, besteht daher ein **dringender Bedarf, die Produktionstechnologien** an die Begebenheiten – hohe Lohnkosten und hohe fachliche Qualifikation in Fertigungstechnologie und Automation – **anzupassen**. Somit besteht die Notwendigkeit, Fertigungsverfahren mit einem hohen Automatisierungsgrad für Hohlkörper aus Hochleistungsfaserverbunden zu entwickeln und zur Marktreife zu bringen.

Die damit verbundenen Herausforderungen sind vielfältig, denn im Gegensatz zu den Prozesstechnologien konventioneller Werkstoffe müssen hier eine Vielzahl von Werkstoff- und Bauteilparametern in einem einzigen Prozessschritt beherrscht werden, da der Werkstoffverbund und das Bauteil gleichzeitig entstehen.

Diese Problematik unterstreicht die Schwierigkeit, solche Technologien den Konstrukteuren und Ingenieuren in den angestrebten neuen Märkten zugänglich zu machen. Die grosse Herausforderung für den Unternehmer besteht darin, die passenden Märkte für diese Innovation zu finden, zu bewerten und zu erschliessen. Es gilt, die technischen oder kommerziellen Vorteile dieser Werkstoffe in Form innovativer Problemlösungen in verschiedenen Branchen und Märkten bekannt zu machen und umzusetzen.
Aus Sicht des Marketing stellt sich die Aufgabe, Methoden zu entwickeln, mit denen Unternehmen mit dieser Technologie rasch und zuverlässig den Einstieg in neue und attraktive Märkte realisieren können. Attraktiv ist ein Markt dann, wenn es sich aus Sicht des Unternehmens um ein echtes Marktsegment und nicht nur um eine technologisch begründete Marktnische oder sogar Marktritze handelt. Ein Marktsegment liegt dann vor, wenn das derzeitige Marktvolumen bei weit mehr als zehn Millionen Euro liegt und mehreren Anbietern eine ausreichende wirtschaftliche Basis bietet[10].

Diese Herausforderungen stellen sich gleichermassen bei anderen innovativen Technologien, wie beispielsweise der Nanotechnologie und der Biotechnologie. Im Institut für Marketing der Universität St.Gallen wird schon seit längerem an Methoden geforscht, die diese Aufgabe prinzipiell lösen. In zwei Praxisfällen aus der Nanotechnologie wurden früher schon unterschiedliche Vorgehensweisen zur Markterkundung und Markterschliessung erfolgreich angewendet[11]. Dieses Methodenwissen wird hier weiterentwickelt und unterstützend zur marktorientier-

10. Quelle: Eigene Schätzung auf der Basis vorhandener wirtschaftlicher Daten aus bestehenden KMU.
11. Vgl. Reinhold, M. / Herzog, A. (2002): Wenn technologische Lösungen ein Problem suchen. Effektives Technologiemarketing am Beispiel der Biomimetik, in: new management, Nr. 4/2002, S. 84-89 und 5/2002, S. 90-91. Reinhold, M. / Hubler U. (2004): Eine Lösung sucht das Problem, in: new management, Nr. 4/2004, S. 10-14.

ten Entwicklung kostengünstiger Bauweisen zur Fertigung von CFK-Hohlkörpern in neuen Märkten eingesetzt.

Das vorliegende Projekts handelt auch von der Diffusion von Innovationen: Wir untersuchen die moderne Faserverbundtechnologie und versuchen einen Beitrag zur schnelleren Diffusion in die Märkte zu leisten.

Jede Marketingkonzeption verlangt die Analyse der potenziellen Märkte und Kunden sowie deren Bedürfnisse. Diesem Projekt liegt eine inside-out-Betrachtungsweise zugrunde. Sie geht von der FV-Technologie und nicht von bekannten oder latenten Kundenbedürfnissen in den Märkten aus. Weil die klassische Marktforschung unter diesen Bedingungen oft versagt, sind andere Ansätze notwendig, um an entscheidungsrelevante Informationen zu neuen Märkten zu gelangen.

Die Vermarktung der Faserverbundtechnologie ist für den Unternehmer ein schwieriges und riskantes Unterfangen. Aus der Sicht des Marketing bringt dies der englische Satz **solutions looking for a problem** exakt auf den Punkt: Die Technologie bietet, so hofft man, vorteilhafte Lösungen für irgendwelche Kundenprobleme in unbekannten Märkten. Damit ist die traditionelle Forderung des Marketing, die Lösungen am Kunden und seinen Bedürfnissen zu orientieren, zwar keineswegs in Frage gestellt. Die traditionelle quantitative Marktforschung, wie Befragungen, kann dennoch zwei wichtige Fragen kaum klären: Erstens, welche neuen Märkte können mit einer innovativen Technologie kreiert werden, d. h. die Schaffung von Bedürfnissen, und zweitens: In welchen Märkten (ausserhalb den bekannten) kann eine innovative Technologie vorhandene Bedürfnisse befriedigen?[12]

In früheren Arbeiten wurde gezeigt, dass sich diese Aufgabe mit Hilfe einer dimensionalen Analyse bewältigen lässt[13]. Es gibt drei zentrale Dimensionen, die in folgender Reihenfolge untersucht werden müssen:

1. **kommerziell-technisch relevante Anwendungen und Funktionen**, die sich mit der betrachteten Technologie erfüllen lassen und so ein generelles oder spezielles Problem in Märkten und Branchen zu lösen helfen (Nutzenversprechen für den Anwender bzw. Kunden)

2. **alternative, konkurrierende Technologien**, welche die o.g. Applikationen und Funktionen prinzipiell ebenfalls wirtschaftlich erfüllen können und zur Problemlösung geeignet sind

3. **Markt- und Kundensegmente**, in denen diese Applikationen und Funktionen einen **Mehrwert für die Kunden** darstellen.

12. Vgl. Lender, F. (1991): Innovatives Technologie-Marketing, Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht.
13. Vgl. Abell, D. J. (1980): Defining the Business. The Starting Point of Strategic Planning. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

Die Reihenfolge ist so gewählt, dass damit nicht die Technologie im Zentrum der Betrachtungen steht, sondern der Mehrwert der Technologie für die Märkte und Kunden. Eine Technologie ist an sich wertfrei und darf daher nicht im Zentrum der Überlegungen stehen.

Wir zeigen im dritten Kapitel systematisch auf, für welche Klassen von Anwendungen und Funktionen sich Bauteile aus FV besonders gut eignen, und welche speziellen Branchenprobleme damit prinzipiell gelöst werden können. Dies im Wissen darum, dass ganz unterschiedliche Technologien, wie Metall-, Kunststoff-, Keramik- und FV-Technologie, vielfach dasselbe Problem in einem Markt lösen und Mehrwert für den Kunden schaffen können.

Ziel ist es, aus allen Märkten und Branchen diejenigen herauszufiltern, in denen Applikationen mit CFK-Technologie prinzipiell einen hohen Mehrwert bieten. Daraus kann der Unternehmer für sich wirtschaftlich attraktive Produkt-Markt-kombinationen ableiten, die kein inakzeptables Risiko enthalten.

Diese Arbeit leistet einen Beitrag zur Erforschung praktischer Methoden, die der Beschleunigung der Diffusion innovativer Technologien in die Märkte dienen, sowie einen praxisnahen Beitrag durch die Identifikation passender Märkte für Innovationen aus der FV-Technologie. Am Schluss dieser Arbeit finden sich Überlegungen grundsätzlicher Art zur Erschliessung neuer Märkte durch KMU.

Typische Fragen und Aufgaben in der Erschliessungsphase sind:

- Welche Marktsegmente sind reif für das Erschliessen? Dies bezieht die nachgelagerten Märkte mit ein.
- In welcher Form und in welchem Ausmass benötigen die potenziellen Anwender und deren Kunden Know-how-Transfer und andere Dienstleistungen?
- Welche Marktrisiken sind mit dieser neuen Technologie für den Kunden verbunden?

Ziel ist es, möglichst praxisnahe, handlungsleitende Empfehlungen abzugeben.

2.5 Zusammenfassung der Projektziele

Die Ziele des Projekts **InnoFaser** können folgendermassen zusammengefasst werden:

- Entwicklung von Methoden und Ansätzen, um für die innovative FV-Technologie insbesondere für KMU kommerziell attraktive (Massen-)Märkte auszumachen und zu erschliessen.
- Entwicklung einer geeigneten Hohlkörper-Herstelltechnologie für die angepeilten Massenmärkte, wie Automobilbau, Maschinenbau, Medizintechnik oder langlebige Konsumgüter, welche die angestrebte 30%ige Kostenreduk-

tion ermöglichen soll; diese ist zwingende Voraussetzung für die rasche Diffusion der FV-Technologie in neue Märkte.

Das erste Ziel steht für diesen Bericht im Vordergrund.

Im nächsten Kapitel wird das zum Verständnis dieser Arbeit notwendige technische Wissen über Faserverbundwerkstoffe und deren Herstellverfahren zusammengefasst.

3 Faserverbundtechnik

Dieses Kapitel fasst den derzeitigen Kenntnisstand über die Technik der Herstellung von Faserverbundbauteilen in verständlicher Form zusammen. Damit kann sich der Leser und Unternehmer ein eigenes Bild über die Komplexität und Herausforderungen dieser Fertigungstechnologie machen, und Chancen und Risiken des Engagements auf diesem Gebiet besser abwägen.[14]

3.1 Faserverbundwerkstoffe

Faserverbundwerkstoffe[15] sind Mischwerkstoffe aus mindestens zwei Hauptkomponenten, den Fasern und der Matrix. Die Fasern haben eine verstärkende Wirkung, die Matrix bettet die Fasern ein und realisiert den Kraftfluss vor allem durch Schubübertragung. Darüberhinaus schützt die Matrix die Verstärkungsfasern vor Umgebungseinflüssen.

Durch die Kombination mehrerer Komponenten werden materielle Defizite ausgeglichen, weshalb die Eigenschaften des Verbundes stets besser sind, als die der einzelnen Werkstoffe.

Die Faserverbundbauweise ist keine Erfindung der Neuzeit, sondern hat sich in der Natur als das am besten geeignete Leichtbauprinzip herausgebildet. Der älteste Konstruktionswerkstoff des Menschen, das Holz, ist ein Faserverbundwerkstoff, bei dem hochfeste Cellulosefasern in eine Matrix aus Lignin eingebettet sind. Es vereint geringe Dichte und hohe Festigkeit, also genau die Eigenschaften, die für den Leichtbau mit entscheidend sind.

3.1.1 Faserkunststoffverbunde (FKV)

Bei modernen Faserverbundwerkstoffen werden Fasern mit einem Durchmesser von wenigen Mikrometern eingesetzt. Da die Querschnittsfläche sehr klein ist, sind diese Fasern annähernd frei von Fehlstellen und weisen keine schwache Stelle auf[16]. Aufgrund dieser Tatsache haben solche Fasern, zu denen auch Glas-, Kohlenstoff- und Aramidfasern zählen, z. B. im Vergleich zu Metallen, in Längsrichtung die weitaus besseren mechanischen Eigenschaften in Bezug auf ihre geringe Dichte. Zusätzlich können die Fasern im Bauteil entsprechend den voraussichtlichen Belastungen ausgerichtet, und ihr Volumenanteil angepasst werden. Faserkunststoffverbunde bieten zudem gestalterische Freiheiten. Der Formgebung sind

14. Die folgenden Abschnitte wurden von Herrn Patrick Böhler, Dipl.-Ing. (FH) verfasst.
15. Folgende Literaturquellen sind für diese Arbeit zu empfehlen: Flemming, M. / Ziegmann G. / Roth S. (1999): Faserverbundbauweisen: Fertigungsverfahren mit duroplastischer Matrix, Berlin [etc.]: Springer; Flemming M. / Roth. S. (2003): Faserverbundbauweisen: Mechanische, konstruktive, thermische, elektrische, ökologische Eigenschaften, wirtschaftliche Aspekte, Berlin[etc.]: Springer; Schürmann, H. (2007): Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden, 2. bearb. und erw. Aufl., Berlin: Springer.
16. Man spricht hier auch vom Grösseneffekt.

kaum Grenzen gesetzt, das Bauteil kann also auch geometrisch an den vorgesehenen Lastfall oder bestimmte Umgebungsbedingungen angepasst werden. Das Bauteil entsteht durch das Schichten von Einzellagen und es können mehrere Funktionen integriert werden. Dadurch entfallen aufwendige und mitunter teure Bearbeitungs- und Montageschritte. Mit all diesen Freiheiten kann ein massgefertigtes Bauteil entstehen, das maximale Festigkeit, Steifigkeit, Stabilität und Funktionsintegration mit minimalem Gewicht vereint.

3.1.2 Fasern

3.1.2.1 Glasfasern

Die am häufigsten eingesetzten Verstärkungsfasern für FKV sind Glasfasern, da sie wegen ihres günstigen Preises bei dennoch guten mechanischen Eigenschaften ökonomisch interessant sind. Die Fasern werden direkt aus einer Glasschmelze gesponnen, mit einer meist organischen Schlichte beschichtet und auf Spulen aufgewickelt. Diese Endlosfasern können direkt im FKV eingesetzt, oder zu textilen Halbzeugen wie Geweben und Gelegen weiterverarbeitet werden. Es gibt unterschiedliche Glasfasertypen am Markt (E-Glas, R-Glas, S-Glas,…), die sich in ganz speziellen Eigenschaften von einander unterscheiden. Glasfasern weisen eine relativ hohe Festigkeit bei eher geringer Steifigkeit auf. Glasfaserverbunde sind daher ein sehr guter Federwerkstoff.

3.1.2.2 Aramidfasern

Aramidfasern finden wegen ihrer sehr hohen Zähigkeit hauptsächlich in stark schlagbeanspruchten Bauteilen Anwendung. So werden sie zum Beispiel in schusssicheren Westen, Fahrzeugpanzerungen oder Sicherheitskleidung im Rennsport eingesetzt. Ihre mechanischen Eigenschaften liegen über denen von Glasfasern, jedoch deutlich unter jenen der Kohlenstofffaser. Zusätzlich ist ihre Druckfestigkeit aufgrund des molekularen Aufbaus gering. Die Fasern werden aus einer Polymerlösung gesponnen, geschlichtet und auf Rollen gewickelt.

Grundsätzlich werden Aramidfasern in Low-Modulus- und High-Modulus-Typen unterteilt, deren Festigkeiten nahezu identisch sind.

3.1.2.3 Kohlenstofffasern

Diese Fasern haben aus technischer Sicht herausragende Eigenschaften. Sie können, abhängig vom Ausgangsmaterial und dem Herstellungsprozess, zwischen hochfest und hochsteif variiert werden. Faserkunststoffverbunde mit Kohlenstofffasern werden häufig dort eingesetzt, wo sehr geringes Gewicht mit sehr hoher Steifigkeit vereint werden müssen, beispielsweise in Tragflügelstrukturen in der

Luft- und Raumfahrt oder in Maschinenelementen, die sehr hohen Beschleunigungen ausgesetzt sind. Ebenso werden sie in der Medizintechnik als Orthesen eingesetzt, da sie röntgentransparent und biokompatibel sind. Ein grosser Vorteil der Kohlenstofffaser ist ihr negativer Wärmeausdehnungskoeffizient. In Kombination mit der Kunststoffmatrix kann das Laminat so gestaltet werden, dass das Bauteil absolut keine Wärmeausdehnung zeigt.

Kohlenstofffasern werden in einem aufwendigen Prozess aus Textilfasern, meist PAN[17], hergestellt. Dabei wird das Ausgangsmaterial chemisch soweit reduziert, bis es zu 98–99% aus reinem Kohlenstoff besteht. Die hervorragenden Eigenschaften basieren auf der hierbei eingebrachten Graphitstruktur. Kohlenstofffasern weisen exzellente Ermüdungseigenschaften auf und sind gegen die meisten Säuren und Basen beständig.

3.1.2.4 Weitere Faserarten

Neben den beschriebenen Faserarten gibt es auch noch Naturfasern und Keramikfasern.

Naturfasern weisen eine sehr geringe Dichte auf, jedoch ist die erzielbare Verstärkung recht gering. Sie werden deshalb nicht in primären Strukturbauteilen eingesetzt, sondern finden vorwiegend in Verkleidungen Anwendung.

Keramikfasern werden aufgrund ihrer hohen thermischen Beständigkeit und der geringen Wärmeleitfähigkeit oft als thermische Isolationen eingesetzt. In Strukturbauteilen kommen sie kaum zum Einsatz, da ihre spezifischen Eigenschaften schlechter als die der Kohlenstofffasern sind.

3.1.3 Kunststoffmatrix

Die Matrix hat die Aufgabe, die Fasern einzubetten und zu stützen, sie gegen Umgebungseinflüsse zu schützen und die Spannungen zwischen den Fasern zu übertragen. Ebenso bestimmt die Matrix bei Belastungen quer zur Faserrichtung entscheidend das Verhalten des Verbundes, da die meisten Fasern ihre hervorragenden Eigenschaften nur in Längsrichtung aufweisen.

Zwei wichtige Klassen von Kunststoffmatrizen sind die Duromere[18] und die Thermoplaste.

17. PAN – Polyacrylnitril

18. Duromere sind Kunststoffe, die nach der Aushärtung nicht mehr schmelzbar sind.

3.1.3.1 Duromere

Bei Hochleistungs-Faserkunststoffverbunden kommen meist Epoxidharzsysteme (EP) zum Einsatz. Sie zeichnen sich durch hohe mechanische Kennwerte und eine sehr gute thermische und chemische Beständigkeit aus. Auch ist der Verarbeitungsschwund sehr gering.

Für weniger belastete Strukturen werden häufig ungesättigte Polyesterharze (UP) oder Vinylesterharze (VE) mit Glasfasern eingesetzt. Diese Harze sind preisgünstiger als Epoxide, haben aber auch schlechtere mechanische Eigenschaften. Bezüglich chemischer und thermischer Beständigkeit sind sie mit Epoxidharzen vergleichbar.

Speziell im Innenausbau von Flugzeugen und Schienenfahrzeugen werden wegen ihres günstigen Brandverhaltens oft Phenolharze (PF) eingesetzt, deren Eigenschaften ähnlich denen der Polyesterharze sind.

Für sehr hohe Einsatztemperaturen werden Polyimide (PI) und Bismaleinimide (BMI) verwendet, deren Verarbeitung jedoch wesentlich schwieriger ist als die der oben erwähnten Harze bzw. Kunststoffe.

Duroplaste sind eher spröde Kunststoffe und als Werkstoffe ohne Füllstoffe oder Verstärkungsfasern ungeeignet. Da sie im ausgehärteten Zustand nicht mehr schmelzbar sind, können Duromere weder geschweisst, noch warm umgeformt werden.

3.1.3.2 Thermoplaste

Thermoplaste lassen sich durch Erwärmung schmelzen. Die Fasern können dem Kunststoff einerseits im schmelzeförmigen Zustand beigegeben andererseits kann der Kunststoff den Fasern als Pulver zugegeben werden. Die Formgebung geschieht dann in einem beheizten Werkzeug unter hohem Druck, das anschliessend wieder abgekühlt werden muss. Thermoplaste weisen bei Belastung im Allgemeinen eine höhere Kriechneigung auf als Duromere.

Als kostengünstiger Matrixwerkstoff kommt Polypropylen (PP) zum Einsatz, das über eine sehr gute Schlagzähigkeit und gute chemische Beständigkeit verfügt. Die Festigkeits- und Steifigkeitswerte sowie die Faserhaftung sind eher gering.

Für höhere Belastungen werden vermehrt Polyamide (PA), Polyethylenterephtalat (PET) und Polybutylenterephtalat (PBT) eingesetzt. Diese weisen hohe Festigkeiten und Steifigkeiten bei gleichzeitig guter Schlagzähigkeit auf. Auch die Faserhaftung ist ausreichend gut.

Für Hochtemperaturanwendungen eignen sich vor allem Polysulfon (PSU), Polyetherimid (PEI) und Polyetheretherketon (PEEK). Letzterer wird häufig mit Koh-

lenstofffasern verstärkt in der Medizintechnik eingesetzt, da er sehr vorteilhafte Eigenschaften besitzt und biokompatibel ist.

Thermoplaste weisen gute Zähigkeitswerte auf, E-Modul und Faserhaftung sind eher geringer als bei den Duromeren. Thermoplaste können aufgrund ihrer Schmelzbarkeit geschweisst, warm umgeformt und vernünftig recycliert werden.

3.1.4 Aufbau eines Faserkunststoffverbundes

Die Fasern liegen im Allgemeinen als flächige Halbzeuge in Form von Geweben oder Gelegen vor. Diese werden in Schichten übereinander in ein Werkzeug gelegt und mit Harz imprägniert. Dabei können die Faserwinkel entsprechend der Belastung eingestellt werden. Das so aufgeschichtete Laminat wird anschliessend ausgehärtet. Je nach Harzsystem kann dies bei Raumtemperatur erfolgen. Meist wird allerdings unter erhöhter Temperatur ausgehärtet, da die Härtungszeit so deutlich verkürzt werden kann.

3.1.5 Herstellverfahren

Es gibt viele verschiedene Herstellverfahren, die je nach Anforderungen und Bauteilgeometrie ausgewählt werden. Man unterscheidet zwischen nassen und trockenen Verfahren. Bei nassen Verfahren werden die Fasern mit Flüssigharz imprägniert und anschliessend ausgehärtet. Diese Verfahren sind sehr einfach und können mit sehr wenigen Hilfsmitteln angewendet werden. Als trockene Verfahren werden jene bezeichnet, die als Ausgangsmaterial Faserhalbzeuge benutzen, die bereits mit der fertigen Harz-Härter Mischung imprägniert sind[19]. Die verwendeten Harzsysteme sind meist heisshärtend, d.h. sie härten erst bei höheren Temperaturen völlig aus. Allerdings beginnt die Aushärtung bereits bei Raumtemperatur, weshalb Prepregs tiefgekühlt gelagert werden müssen. Prepregs haben bei der Verarbeitung eine leicht klebrige Oberfläche, wodurch sie sehr gut in der Form positioniert werden können.

3.1.5.1 Handlaminieren

Dieses klassische Verfahren zählt zu den nassen Verfahren und wird meist angewendet, um Kleinstserien oder Prototypen herzustellen. Dabei werden abwechselnd Fasern und Harz in einer Form übereinander eingelegt. Dabei muss darauf geachtet werden, dass keine Lufteinschlüsse oder unbenetzte Stellen entstehen, da diese die Laminatfestigkeit stark reduzieren. Nach der vollständigen Imprägnierung wird das Bauteil ausgehärtet und kann aus der Form entnommen werden. Für eine bessere Konsolidierung kann nach dem Laminieren eine Vakuumfolie über

19. Faserhalbzeuge, genannt Prepreg. Das sind vorimprägnierte Faserlagen, das Harz wird leicht angeliert.

das Laminat gelegt werden. Durch ein Vakuum zwischen Werkzeug und Folie wird das Laminat besser verdichtet und Lufteinschlüsse können entweichen. Mit dem Handlaminierverfahren sind Faservolumengehalte bis 40% möglich.

3.1.5.2 Autoklavverfahren

Mit diesem Verfahren, welches vor allem in der Luft- und Raumfahrt sowie bei Kleinserien zum Einsatz kommt, lassen sich qualitativ sehr hochwertige Bauteile herstellen. Bei diesem Verfahren sind viele verschiedene Hilfsmittel nötig. Es werden vor allem Prepregs eingesetzt, da diese durch ihre leicht klebrige Oberfläche sehr exakt auflegbar sind und sich nicht mehr von alleine verschieben. Nachdem das Laminat im Werkzeug aufgeschichtet wurde, werden ein Hilfsaufbau und eine Vakuumfolie darüber gelegt. Ein anfängliches Vakuum führt zu einer ersten Konsolidierung des Laminats und entzieht letzte Lufteinschlüsse. Der gesamte Aufbau wird dann in einen Autoklaven gebracht. Der Innenraum wird auf die nötige Aushärtetemperatur aufgeheizt und mit Druck beaufschlagt. Dadurch wird eine weitere Konsolidierung erreicht und das Harzsystem härtet aus. Nach der Aushärtung wird das Bauteil entformt. Mit diesem Verfahren sind Faservolumengehalte bis 65% möglich.

3.1.5.3 Innendruckverfahren

Beim Innendruckverfahren werden vorzugsweise Prepregs in ein mehrteiliges Negativwerkzeug, meist aus Aluminium oder Stahl, eingelegt. Damit an der Trennebene des Werkzeugs keine Schwachstelle im Bauteil entsteht, müssen die Einzelschichten in diesem Bereich überlappend eingelegt werden. Sind beide Formhälften belegt, wird ein flexibler Drucksack in einer der beiden positioniert. Der Drucksack sollte nach Möglichkeit ungefähr die gleiche Geometrie wie das Bauteil aufweisen. Nun wird das Werkzeug geschlossen und der Drucksack mit Druckluft beaufschlagt. Anschliessend muss das Werkzeug in einen Ofen transferiert werden, der auf die vorgesehene Aushärtetemperatur geheizt wird. Nach der Aushärtung wird das Werkzeug geöffnet und das Bauteil entformt. Je nach verwendetem Drucksackmaterial kann dieser wieder verwendet werden.

Das Innendruckverfahren eignet sich besonders für dünnwandige Hohlkörper, die zumindest eine Öffnung haben müssen. Es sind Faservolumengehalte bis 60% möglich.

Neben den oben beschriebenen Verfahren existieren noch weitere, wie z. B. RTM, auf deren Beschreibung wir hier verzichten und stattdessen auf die Literatur verweisen.[20]

20. vgl. Flemming, M. / Ziegmann, G / Roth, S. (1999): Faserverbundbauweisen, Fertigungsverfahren mit duroplastischer Matrix, Berlin u.a.O.: Springer

3.1.6 Verbindungstechniken

Trotz der möglichen Funktionsintegration bei Faserkunststoffverbunden sind Verbindungselemente nötig, etwa um Kräfte einzuleiten oder als Schnittstelle zu anderen Baugruppen. Dabei kann zwischen formschlüssigen, kraftschlüssigen und stoffschlüssigen Verbindungen unterschieden werden.

3.1.6.1 Schlaufenverbindungen

Schlaufenverbindungen kommen dort zum Einsatz, wo sehr hohe Zugkräfte in eine bestimmte Richtung eingeleitet werden müssen. Die Fasern werden dabei ausschliesslich auf Zug beansprucht. Dies stellt die optimale Belastung der Fasern dar und birgt somit das grösste Leichtbaupotenzial (siehe Bild 3-1).

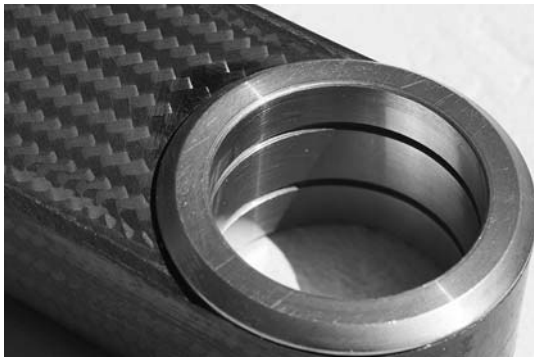

Bild 3-1: Schlaufenverbindung an einem Roboterarm (Fa. Nägeli Swiss AG)

3.1.6.2 Bolzenverbindungen

Bolzenverbindungen sind unumgänglich, wenn eine Verbindung lösbar sein soll. Im Bereich des Bolzens sollte das Laminat durch einen geeigneten Schichtaufbau verstärkt werden. Ebenso sind genügend grosse Randabstände sinnvoll, damit es nicht zu einem Ausreissen des Bohrloches kommt. Wenn diese Vorkehrungen in der Konstruktion bedacht wurden, können Bolzenverbindungen sehr hohe Lasten übertragen. Bolzenverbindungen werden idealerweise mit Faserverbundschlaufen kombiniert.

3.1.6.3 Inserts / Onserts (Outserts)

Inserts sind meist metallische Einlegeteile, die entweder bereits über eine Gewindebohrung verfügen, oder die Möglichkeit ergeben, eine nachträgliche Gewindebohrung am fertigen Bauteil zu realisieren. Wichtig bei Inserts ist die sanfte Krafteinleitung in das Laminat: der Steifigkeitssprung muss so gering als möglich ausfallen. Dies kann beispielsweise durch dünn auslaufende Scheiben, oder durch sternförmige Drahtstrukturen gestalterisch ausgeführt werden (vgl. Bild 3-2).

Bild 3-2: Roboterarm mit Inserts, in Formwerkzeug (Fa. Nägeli Swiss AG)

Ein Sonderfall stellen die Onserts dar. Es handelt sich ebenfalls um meist metallische Krafteinleitungselemente, die allerdings auf das Laminat geklebt werden.

3.1.6.4 Klebungen

Klebungen zählen zu den stoffschlüssigen Verbindungen und sind im Allgemeinen nicht mehr lösbar. Für eine gute Klebverbindung sind einige Vorarbeiten nötig. Die Klebefläche muss aufgeraut werden, um die wirksame Oberfläche zu vergrössern. Ausserdem muss die Klebefläche absolut fettfrei sein. Eine richtig ausgeführte Klebverbindung ist geeignet, um mittlere bis hohe flächige Kräfte einzuleiten.

3.1.7 Technische Vorteile von Faserverbundwerkstoffen

Die herausragenden Vorteile von Faserverbundstoffen sind das geringe Gewicht, die hohe Festigkeit, Steifigkeit und ihre Stabilität. Durch die ausgezeichneten Leichtbauweisen haben Faserverbundstoffe an grosser Bedeutung gewonnen.

Um diese Vorteile zu quantifizieren verweisen wir auf Bild 3-3. Hier ist die spezifische[21] Festigkeit gegen die spezifische Steifigkeit (Elastizitätsmodul) von metal-

21. Spezifisch: Bezogen auf die Dichte des Werkstoffs.

lischen und nichtmetallischen Leichtbaustrukturwerkstoffen dargestellt. Die Festigkeit bestimmt wie viel Belastung der Werkstoff standhält, bis er reisst. Die Steifigkeit gibt Auskunft über den Widerstand des Werkstoffs gegenüber Deformationen. Faserverbundstoffe zeichnen sich durch eine hohe Festigkeit und Steifigkeit aus, wie sie bisher nur bei Stahl, Titan und Aluminium zu finden war.

Auffälligster Vorteil ist die Gewichtseinsparung von Faserverbundstoffen gegenüber Metallen. Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) zeigen zusätzlich nur gegenüber der Festigkeit ein besseres Verhalten als Metalle, sind aber bezüglich der Steifigkeit unterlegen.

Jedoch schon für carbon- oder kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) der ersten Generation zeigt sich gegenüber den Metallen eine um den Faktor zwei erhöhte Leistung, sowohl im Festigkeits-, als auch im Steifigkeitsverhalten. Beide Eigenschaften verbessern sich nochmals drastisch bei den CFK der zweiten Generation. Die Prognosen lassen sogar noch weit extremere Festigkeits- und Steifigkeitseigenschaften für die Zukunft erwarten.

Die Stabilität bestimmt den Widerstand des Werkstückes gegen Knicken und Beulen, der durch seine Geometrie gegeben ist. Die besonderen Eigenschaften sind z.B. geringe Wärmeausdehnung, niedrige Massenträgheit, Korrosions- und Chemikalienbeständigkeit. Sie sind antimagnetisch und haben eine hohe Schwingfestigkeit.

Das bedeutet, dass bei extremen Gewichtseinsparungen die Anforderungen an die Materialien gegenüber den bisher gebräuchlichen Metallen sehr hoch angesetzt werden können. Dadurch ergeben sich auch Anwendungsmöglichkeiten über die bisherigen Grenzen hinaus.

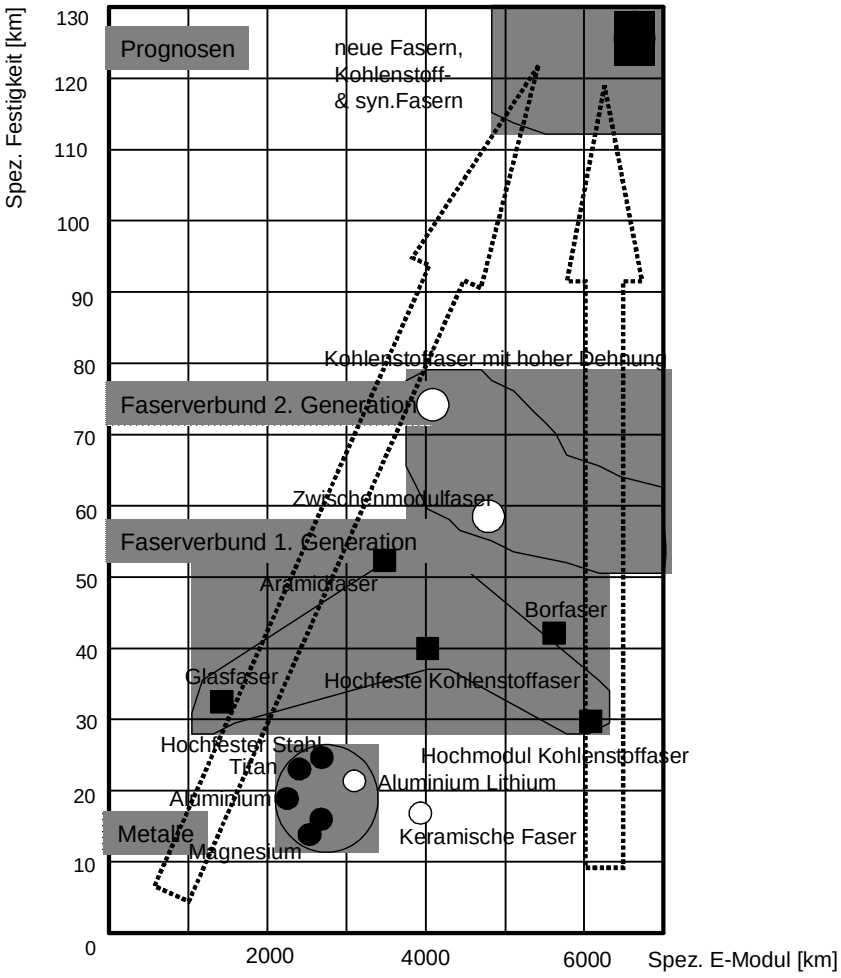

Bild 3-3: Spezifische Festigkeit gegen die spezifische Steifigkeit (Elastizitätsmodul) von metallischen und nichtmetallischen Leichtbaustrukturwerkstoffen[22].

Ein weiterer wesentlicher Vorteil der Faserverbundbauweise ist die freie Gestaltung des Laminataufbaus, wodurch sich der Grad der Orthotropie und der Anisotropie wählen lässt. Orthotropie und Anisotropie bezeichnen richtungsabhängige Eigenschaften. Unter orthotrop werden unterschiedliche elastische Eigenschaften verstanden, die senkrecht zueinander verlaufen. Anisotropie bedeutet, dass in beliebigen Richtungen unterschiedliche Eigenschaften (z.B. Steifigkeiten) vorhanden sein können. In Richtung der Kräfteeinwirkung können Verstärkungsfasern gelegt werden, um den Grad der Festigkeit und Steifigkeit zu beeinflussen. Sind

22. Die Werte beziehen sich auf die 0-Grad-Richtung von Laminaten mit einem Fasergehalt von 50 Vol %. Das Verhältnis von der Anzahl Fasern in 0-Grad Richtung und in 90-Grad-Richtung beträgt 1:1. (Flemming et al., 1996)

die Eigenschaften in drei oder mehreren Richtungen nahezu gleich, so ist es gängig, von quasiisotrop zu sprechen.

Das Hinzufügen beliebiger Komponenten zu dem Zweikomponentensystem ermöglicht es, zusätzliche Funktionen bzw. Eigenschaften des Materials zu erhalten und führt zu sogenannten Funktionswerkstoffen. Als weiteren Vorteil zeigen die Faserverbundwerkstoffe ein ausgezeichnetes Verhalten gegenüber Materialermüdungserscheinungen und ein gutes Dämpfungsverhalten.

Nachteile können bei der Weiterverarbeitung entstehen, wie z. B. durch die Schlagzähigkeit der Kohlenstofffasern, welche den Verschleiss der Schneidewerkzeuge erhöhen. Jedoch ist die Verarbeitbarkeit sowohl in der Herstellung als auch in der Nachbearbeitung im Allgemeinen als gut zu bezeichnen.

Ein bereits realisiertes Anwendungsbeispiel ist der Flugzeugbau. Durch den Einsatz von Flugzeugflügeln aus CFK lässt sich das Gewicht, aber auch die Streckung (Verhältnis von Flügelspannweite zu Flügeltiefe) so verbessern, dass der induzierte Widerstand erheblich kleiner wird, was die Betriebskosten senkt. Gleichzeitig werden das Flatterverhalten der Tragwerke verbessert und die Sicherheit wesentlich erhöht.

Im Bootsbau wirkt sich zusätzlich zum Leichtbau insbesondere die einfache und kostengünstige Formgebung positiv auf die Realisierbarkeit moderner Bootstypen aus.

Ein weiteres Beispiel kommt aus dem Bereich Taue und Trossen, der trotz hoher Materialkosten den Einsatz von Strängen aus CFK-Materialien favorisiert. Da die Kohlenstofffasertrosse bei gleicher Tragfähigkeit nur ein Fünftel wiegen, sind bei Hängebrücken Spannweiten von mindestens 15 km ausführbar, im Vergleich zu Stahltrossen mit maximal 4 km Länge. Hinzu kommen leichterer Transport, leichtere Verarbeitung und geringere Wartungskosten der Trosse (kein zu erneuernder Korrosionsschutz).

Die tatsächlichen Möglichkeiten sind bisher noch längst nicht ausgeschöpft, wenn z. B. metallische Materialien teilweise unverändert gegen CFK-Materialien ausgetauscht werden, ohne die neuen Vorteile zu nutzen (Grösse, Form etc.). Grosses Potential liegt ausserdem in den Funktionswerkstoffen, bei denen gezielt eingesetzte Kunststoffmatrizen über die blosse Verstärkung hinaus weitere Funktionen ermöglichen. Hinzu kommen weitere günstige Eigenschaften wie ausgezeichnetes Ermüdungsverhalten, geringe Korrosionsneigung und hervorragendes thermisches Verhalten für viele Anwendungen.

3.1.8 Besonderheiten im Design und in der Produktion von FV-Bauteilen

FV-Werkstoffe ergänzen und substituieren vielfach herkömmliche Werkstoffe, wie im Allgemeinen Metalle. Letztere sind im allgemeinen räumlich homogen und von den mechanischen Eigenschaften her isotrop. Die FV-Werkstoffe hingegen bestehen aus Fasern und Matrix, sind makroskopisch nicht homogen und zeigen eine starke Anisotropie der mechanischen Eigenschaften. Komplexe FV-Bauteile können beispielsweise nicht „aus dem Vollen“ gefräst werden, wie metallische Bauteile. Diese Eigenheiten sind beim Design und der Herstellung von Bauteilen zu berücksichtigen.

Das computergestützte Design und die Berechnung von Bauteilen aus Faserverbund ist bedeutend anspruchsvoller und komplexer als beim Einsatz von metallischen Werkstoffen. Die Optimierung der Gesamtkonstruktion kann auch von einem erfahrenen Faserverbundkonstrukteur auf Grund der Vielfalt der Varianten nicht zuverlässig identifiziert werden. Wegen der Anisotropie sind aufwendige Berechnungen erforderlich. Dies verteuert das Projekt in der Anfangsphase, und besonders für KMU ist der damit verbundene wirtschaftliche Mehraufwand kaum tragbar.

Hier bietet sich das Outsourcing als Lösung an, denn auf dem Markt existieren kommerzielle Anbieter, die diese Berechnungen gegen Entgelt durchführen. Darüber hinaus bieten Hochschulen und Fachhochschulen ihre Zusammenarbeit und ihre Berechnungsverfahren im Rahmen von Partnerprojekten an. So beschafft sich der Unternehmer von extern den Lay-up Plan (Anzahl Faserlagen, Faserorientierung) für das Bauteil, Informationen zur Art des Herstellprozesses sowie die Geometriedaten für das Tooling-Konzept.

Ein wichtiger Kostenfaktor ist das Werkzeug für den Prototypen. Insbesondere bei komplexen Bauteilen gelingt es nicht, billige Werkzeuge für wenige Muster herzustellen. Der technische Teil des Projekts **InnoFaser** analysiert und vergleicht verschiedene, innovative Ansätze zur Lösung dieses Problems.

4 Hightech Marketing Konzeption

Unternehmen in Hightech-Branchen beschäftigen sich mit der Forschung, Entwicklung und Markteinführung neuer Produkte oder innovativer Prozesse unter systematischer Anwendung von Erkenntnissen aus Naturwissenschaft und Technik.

Hightech Marketing hat zum Ziel, Dienstleistungen und Produkte an ergiebigen Märkten und ihren Kunden auszurichten und erfolgreich zu vermarkten.

4.1 Hightech Produkte und Märkte

Die OECD klassifiziert und ordnet die Hightech Produkte nach ihrer F+E-Intensität, gemessen als das Verhältnis von Entwicklungskosten zu Umsatz[23]. Dabei kommt sie auf die folgende, absteigende Rangfolge der Produktgruppen:

- Raumfahrt
- Computer – Büromaschinen
- Elektronik –Telekommunikation
- Pharmazeutika
- Wissenschaftliche Instrumente
- Elektrische Maschinen
- Chemie
- Nicht-elektrische Maschinen
- Rüstung.

Im Hightech-Bereich entstehen die Produkte oft aus dem aktuellen technisch-wissenschaftlichen Know-how der Grundlagenforschung und werden nicht auf Grund eines offenen oder latenten Kundenproblems entwickelt: **Technology-push ist hier wichtiger als Market-pull**.

Bauteile aus modernen Faserverbundwerkstoffen, die sogenannten **advanced composites**[24], sind zweifelsfrei Hightech-Produkte, weil die Technologie Treiber des Kundenvorteils ist. Hightech-Marketing bewegt sich in einem speziellen Umfeld und weist einige Eigenheiten auf:

- Wissenschafts- und Technologieorientierung als Ausgangs- und Angelpunkt
- Radikale Innovationen mit grossen technisch-kommerziellen Risiken
- Komparative Konkurrenzvorteile oft nicht bekannt
- Parallele Entwicklung der Technologie- und Marketingstrategie
- Pay-back-Perioden schwierig abzuschätzen

23. Vgl. OECD, STI working paper 1997/2

24. Leider gibt es keinen äquivalenten Begriff für advanced composites auf Deutsch.

- Sehr unterschiedliche Geschäftsmodelle
- Schwieriger Zugang zu neuen Kunden und Märkten
- Quantitative Methoden der Marktforschung kaum anwendbar.

Die drei letztgenannten Herausforderungen – zu den Geschäftsmodellen, zum Marktzugang und zu der Marktforschung – stehen hier im Zentrum der Untersuchungen.

Für den Unternehmer steht jedoch nicht die Eleganz der Technik im Vordergrund sondern der **Unternehmenserfolg**. Dieser entsteht nur unter der Vorbedingung des **Kundenerfolgs** und dazu braucht es ergiebige **Treiber des Kundenvorteils**[25]. Typische **Vorteile aus Kundensicht** sind beispielsweise:

- Preis der Produkte
- Technische Leistungsfähigkeit der Produkte (Spezifikationen) und Anwendungsmöglichkeiten
- After Sales Service
- Supply Chain Management
- Verwendete Technologien (andersartig, ressourcenschonend, innovativ, umweltschonend usw.)
- Technologieknow-how
- Komplexitätsreduktion
- Nach- und Umrüstungen
- Kosten über die Produktlebensdauer, inkl. Entsorgung
- Flexibilität des Lieferanten
- Risikobereitschaft des Lieferanten
- Ruf des Lieferanten
- Produktdesign
- Markenimage.

Ebenso muss sich das Unternehmen mit seinen massgeblichen Wertetreibern auseinandersetzen, denn sonst macht das Geschäft langfristig keinen Sinn. Typische **Wertetreiber für den Anbieter** sind:

- Nachfrage, Verkäufe, Umsätze, Deckungsbeiträge
- Bedarf an Service- und Ersatzteilen
- Bedarf an Nach- und Umrüstungen
- Folgekäufe, Kundenloyalität
- Risikobereitschaft (Innovationen, neue Technologien)
- Bereitschaft zum Informationsaustausch

25. Vgl. Bieger, Th. / Belz, Ch.: Customer-Value. Kundenvorteile schaffen Unternehmensvorteile. 2. akt. Aufl., Landsberg am Lech: mi-Fachverlag, Redline GmbH, 2006, S. 38 ff.

- Bereitschaft zur Weiterempfehlung
- Reputation als Erst- oder Stammkunde
- Cross-selling Potenzial, Share of Wallet.

4.2 Hightech Marketing

Erfolgreiches Hightech-Marketing bedeutet, den Technology-push in einen Market-pull umzupolen. Das setzt neben herausragenden technischen Ergebnissen und einer marktorientierten Haltung aller Beteiligten die Fähigkeit voraus, die technischen und wirtschaftlichen Potenziale überzeugend zu kommunizieren.

Die innovative Technologie ist Treiber des Kundenvorteils in den Hightech-Produkten. Sie stellt ein eigenständiges Wertobjekt dar, das sich gleichfalls vermarkten lässt. Der Unternehmer steht somit vor der Wahl, entweder Hightech-Produkte und/oder die Technologien zu vermarkten (Produkt- und Technologiemarketing).

In der Tabelle 4-1 sind Produkt- und Technologiemarketing einander gegenüber gestellt. Im Vergleich zum Produktmarketing ist das Technologiemarketing die unternehmerisch anspruchsvollere Form: Die Dichte der Anbieter und Nachfrager ist gering, es herrscht grosse Informationsasymmetrie, die Transparenz des Marktes ist klein und die Geschäftsprozesse lassen sich nicht gut standardisieren.[26]

Die Firma Nägeli Swiss AG im Produktmarketing tätig. Eine Vermarktung ihrer innovativen Technologien steht nicht zur Diskussion, weil sich ihr Ertragsmodell auf die Fertigung von Komponenten und Bauteilen aus Metall und Faserverbund stützt. Eine Weitergabe der Technologien würde die wirtschaftliche Basis nachhaltig erodieren.

Technologiemarketing wird von produzierenden Unternehmen hauptsächlich dann gewählt, wenn es sich nicht um Kerntechnologien handelt: Leitmotiv ist die Verwertung und Amortisierung früher erarbeiteter und nicht mehr benötigter Forschungs- und Entwicklungsresultate.

Für Unternehmen und Institutionen, die sich rein der Forschung und Entwicklung widmen, wie Hochschulen, Fachhochschulen und Universitäten ist die Vermarktung der Technologien das Standard-Geschäftsmodell. Vielfach kann aber diese Chance von Hochschulen nicht genutzt werden, weil die Ergebnisse von Partnerprojekten oft exklusiv dem Industriepartner gehören.

26. vgl. Tschirky, H. / Belz, Ch., Technologiemarketing I, in io management, 5/2000 und
Belz, Ch. / Reinhold, M. / Tschirky, H., Technologiemarketing II, in: io management, Nr. 6/2000.

Elemente der Marketingplanung	*Technologiemarketing*	*Produktmarketing*
Strategie-Ziel	Aufbau technologischen Potenzials, Eingehen von strategischen Allianzen	Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit im Markt
Geschäftstypen	Business-to-business Geschäft mit Technologieverwendern	Business-to-business Geschäft mit OEM oder Endkunden.
Verkaufsverhandlungen	Meistens strategische Verhandlungen, Netzwerke, kein offener und transparenter Markt. Gesprächspartner: Firmenleitung, Einkaufteams.	Direktverkauf im Team
Gesprächspartner	Firmenleitung, F+E Mitarbeiter, seltener Einkaufteams.	Einkaufteams
Kooperationen	Technologietransfer, Fertigung und Verkauf von OEM-Bauteilen	Als Teil einer Supply Chain
Marktleistung	Know-how, Komponenten, Technologie, Patente, Lizenzen, Prozesse	Produkte und produktbegleitende Dienstleistungen
Preisfindung	Keine Listenpreise, keine Standardkalkulationen	Standardmethoden
Marktkommunikation	Über den Technologie-Ruf, wissenschaftliche Publikationen, Patente usw.	Klassische Marketingkommunikation
Schlüsselfaktoren für den Erfolg	Technologieführerschaft, Kundenvorteil, Eintrittsbarrieren für Konkurrenten, Ressourcen für den Technologietransfer, guter Fit mit dem Partner	Kundenvorteil, der stark auf der Technologie aufbaut

Tabelle 4-1: Vergleich Technologie- mit Produktmarketing

Hightech Marketing ist auch **Hochrisiko-Marketing**, denn es gilt mit den **Ängsten und Zweifeln der Kunden** bezüglich der Leistungsfähigkeit der neuen Technologie umzugehen. Dazu gehören Fragen, wie beispielsweise:

- Wird die Lieferung trotz aller technologischen Unwägbarkeiten rechtzeitig erfolgen?

- Wird das neue Produkt so funktionieren wie versprochen und werden die Spezifikationen eingehalten?
- Wie sind die Erfahrungen mit dem Lieferanten: Bietet der Lieferant hochqualitativen Service auch bei auftretenden Problemen?
- Wird der Lieferant zukünftig erfolgreich sein und ist er langfristig ein verlässlicher Partner?
- Gibt es schädliche Nebeneffekte oder unliebsame Überraschungen?
- Erschlägt die neue Technologie alles bisherige?
- Entsteht ein neuer Industriestandard?
- Wie rasch wird die innovative Technologie diffundieren?
- Kommt die Konkurrenz mit noch etwas Besserem heraus?
- Wie schnell wird das Produkt, die Technologie veralten?
- Sollte man nicht auf die nächste Generation, den nächsten Release warten?
- Wie steht es mit der gesellschaftlichen Akzeptanz der Technologie?

Zur Eingrenzung des Risiko helfen Kommunikationsmassnahmen vor dem Angebot und Verkaufsabschluss. Im Hightech Marketing gilt es, sich mit drei Risikotypen[27] auseinander zu setzen:

1. **Technologierisiko:** Der wissenschaftliche Fortschritt bedroht die vorhandene (state-of-the-art) Technologie. Es ist möglich, dass die Faserverbundtechnologie dank neuer Materialen künftig obsolet wird.

2. **Marktrisiko:** Die Dynamik des Wettbewerbs bedroht die vorhandene Technologie. Es ist denkbar, dass ein Konkurrent besser, schneller und günstiger Faserverbundbauteile produzieren kann.

3. **Volatiles Konkurrenzumfeld:** Die Dynamik des Wettbewerbs und der wissenschaftliche Fortschritt ermöglichen es neuen Anbietern gleichfalls in den selben Hightech-Märkten tätig zu werden. Dies könnte dann passieren, wenn ganz neue Materialtechnologien gefunden werden.

Zusätzlich muss der **Anbieter** sein geschäftliches Risiko minimieren. Dazu gehören Massnahmen, wie:

- Marktforschung, Abklärung Kundenbedürfnisse
- Technisch-kommerzielle Pflichtenhefte
- Target Pricing der Güter und Dienstleistungen
- Rapid Prototyping, Design Freeze
- Einhalten aller Q-Normen (ISO 9001 etc.)
- Kundennähe und Lead-User-Konzepte

27. Vgl. Mohr, J. / Sengupta, S. / Slater, S (2005): Marketing of High-Technology Products and Innovations, 2nd edition, Upper Saddle River NJ: Prentice Hall, p. 6.

- Vermeidung von Lagern (Obsoleszenzrisiko)
- Management der Supply Chain
- Service Konzept und Leistungssystem
- Markteinführungskonzept, Schulung Aussendienst
- Management des Hightech Adoption Zyklus[28].

Die Anwendung moderner Methoden des Marketing kann zwar den Geschäftserfolg mit Hightech-Produkten nicht garantieren, es gilt jedoch, das kommerzielle Risiko einzelner Projekte und Produkte sichtbar und somit kalkulierbar zu machen. Bei komplexen Projekten empfiehlt sich eine enge technologische Kooperation mit dem Kunden zur Eingrenzung und Minderung von beidseitigen Risiken.

4.3 Hightech Marketing-Konzept

Für die praktische Marketingarbeit ist es nützlich ein sog. Marketing-Konzept zu besitzen, nach dem man sich richten kann. Dies ist ein Grobentscheidungsraster, ein Katalog der grundsätzlichen Entscheide, die das Verhalten der Unternehmung im Markt bestimmen. Ein ausführliches Marketing-Konzept ist Teil eines jeden Businessplans.

Die Tabelle 4-2 veranschaulicht in neun Schritten die zentralen Inhalte und Methoden eines Hightech-Marketing-Konzepts[29].

Wir verzichten an dieser Stelle auf die detaillierte Erläuterung der neun Schritte und verweisen stattdessen auf die Literatur[30].

Schritte	*Inhalte und Methoden*
1. Vorgaben des Unternehmens für das Marketing	Strategische Ziele der Vermarktung von Hightech-Produkten oder Dienstleistungen (z.B. Sicherstellung der Technologieführerschaft im Markt, Aufbau, Absicherung und Ausbau der Marktposition usw.)
	Vorgaben zum Technologie- und Wissensmanagement. Welche Technologien (im weitesten Sinne) sollen in fünf Jahren in den Produkten enthalten sein bzw. worin sollen die komparativen Konkurrenzvorteile bestehen?

Tabelle 4-2: Hightech Marketing-Konzept

28. Vgl. Mohr, J. / Sengupta, S. / Slater, S. (2005): Marketing of High-Technology Products and Innovations, 2nd edition, Upper Saddle River NJ: Prentice Hall, p. 176 ff.
29. Vgl. Reinhold, M. (2002): Akzente im Nanomarketing, St.Gallen: THEXIS
30. Belz, Ch. (1998): Akzente im innovativen Marketing, St.Gallen und Wien: Thexis und Ueberreuter, S. 668 ff.

Schritte	*Inhalte und Methoden*
2. Unternehmens-analyse: Stärken und Schwächen des Marketing	Stärken und Schwächen des Gesamtunternehmens besonders im Technologiesektor [a]
	Technologieinventar und Technologieportfolios nach geschätzter Technologieattraktivität und -stärke. Beurteilung des Technologielebenszyklus
	Abschätzen der Verfügbarkeit kritischer Rohstoffe, einzigartiger Geräte und Produktionsanlagen, spezieller Software und technologischer Parameter. Analyse der Patentsituation (eigene und fremde)
	Bezeichnung von Kernkompetenzen und Kernhemmnissen[b], welche neuen Technologien entgegen stehen
	Identifikation attraktiver Technologien/Forschungsresultate für eine Übernahme zur Vermarktung
	Inventar der Apparaturen und Prozesse
	Zusammenfassen des aktuellen Stands der Technik, Literaturrecherche, Patentrecherche[c]
	Beurteilung der verfügbaren Kapazitäten im Zeitablauf (Einstellung neuer wissenschaftlicher Mitarbeiter, Know-how Abfluss, konkurrierende Projekte, Ausbaupläne, Beschaffung neuer Geräte usw.)
	Beurteilung der F&E-Aktivitäten von Konkurrenten, Forschungsinstituten und Universitäten
3. Marktanalyse: Trends, Kunden, vertikale Marktpartner und Konkurrenten, attraktive Stossrichtungen	Identifikation attraktiver, internationaler Absatzmärkte für radikale und inkrementelle Innovationen
	Portfolio der Technologien (vgl. oben) nach Marktattraktivität und relativer Marktposition
	Identifikation attraktiver Marktchancen für die Technologien in verschiedenen Branchen
	Schätzung potentieller Marktgrössen und Absatzchancen in den definierten Segmenten
	Wertekettenanalyse und Untersuchung der Gewinnaussichten[d]: Definition und Abgrenzung der Firmenaktivitäten in der gesamten Wertekette

Tabelle 4-2: Hightech Marketing-Konzept

Schritte	*Inhalte und Methoden*
	Beurteilung der Diffusionschancen und der Marktakzeptanz für Innovationen bzw. innovative Technologien
	Analyse konkurrierender Technologien (bestehend und zukünftig)
	Einschätzung von gesellschaftlichen und Umweltrisiken
	Beurteilung bestehender und potenzieller Konkurrenten
	Abschätzung der Risiken des Markeintritts bzw. Wiederaustritts
4. Alternative Marketing Strategien: Geschäftsfeld-Mix	Expertengespräche mit Lead-Usern und anderen potentiellen Abnehmern über die Bereitschaft zur Übernahme von Innovationen
	Identifikation potenzieller vertikaler Kooperationspartner in attraktiven Teilmärkten
	Abgrenzung strategischer Geschäftsfelder
	Planung des Timing neuer Technologien (Technologie-Roadmap)
	Strategien zur Erlangung von komparativen Konkurrenzvorteilen (z.B. in der Bedienung, Datenvisualisierung, Messgenauigkeit, Interoperabilität, Vernetzung, Preisvorteil usw.)
	Eintritt in fremde Branchen zur Wahrnehmung der Chancen disruptiver Technologien
	Entscheid der Vermarktung unter der eigenen oder fremden Marke
	Aktive Vermarktung bestehender Technologien ausserhalb der selber bearbeiteten Segmente oder von nicht mehr benötigten Technologien
5. Quantitative und qualitative Marketingziele (langfristig)	Positionierung des Unternehmens im Wettbewerb/ Image. Kunden (Selektion von Bedürfnissen, Ansprüchen, Problemlösungen; Kundenzufriedenheit)
	Umgang mit Ängsten, Unsicherheiten und Zweifeln der Kunden
	Leistungskombination (Produktselektion (inkrementelle und radikale Innovationen), Leistungssysteme, Produkteplattformen)
	Marktkombination (Marktsegmentierung, Kundenselektion, Kundensysteme, Wahl internationaler Märkte)

Tabelle 4-2: Hightech Marketing-Konzept

Schritte	*Inhalte und Methoden*
	Marketing-Erfolg in den Leistungs-/Marktbereichen (Pay back, Umsätze, Marktanteile, Leistungs- und Kundenrentabilität)
	Wahl der Absatzkanäle und Absatzmittler
	Wahl statischer oder dynamischer Preisstrategien
6. Marketing-instrumente für die Zielverwirklichung (mittelfristig)	Einsatzgrundsätze und Marketingschwerpunkte Marktleistungsgestaltung: Produkt und Dienstleistung, Leistungssysteme [vgl. Schicht, 1993[e]], Preisgestaltung: Kundennutzen, Konkurrenz, Kosten, Marktbearbeitung: Werbung, Direct Marketing, Verkaufsförderung, E-Marketing, persönlicher Verkauf, Distribution
7. Infrastrukturen des Marketing	Personal, Informationssysteme (CRM), Organisation, Schulung, Finanzierung und Budget
8. Marketingtaktik (kurzfristig)	Entscheidungsregeln für die Marketingtaktik: Marktleistung, Preisgestaltung, Marktbearbeitung, Kommunikation[f] und Distribution
9. Implementierung und Controlling	Synchronisation der Marketing- mit der Technologiestrategie Controlling aller Aktivitäten in Technologie und Marketing

Tabelle 4-2: Hightech Marketing-Konzept

a. Dabei vernachlässige man nicht die anderen Bereiche wie Produktion, Vertrieb usw. Die Analyse geht in der Tiefe bis auf das einzelne Produkt mit seinen Einzigartigkeiten und Schwächen.
b. Beispiele für Kernhemmnisse: NIH-Syndrom (not invented here), Überlegenheitsgefühl der Technik über das Marketing usw.
c. Diese Vorgabe ist sehr personalintensiv. Grundsätzlich werden bei einer Patentrecherche die neu eingereichten Anmeldungen während mindestens 18 Monaten nicht erfasst. Als Alternative bietet sich die sofortige Anmeldung eines Patents basierend auf einem funktionierenden Muster an: Der Vorteil besteht darin, dass einerseits der Stand der Technik geklärt und andererseits auch Rechtssicherheit geschaffen wird. Die eigene Anmeldung kann ggf. später zurückgezogen werden.
d. Besonders Marketingleute sind häufig der irrigen Ansicht, dass radikale Innovationen besonders hohe Gewinne generieren sollten. Dabei wird mit der Marktführerschaft und den Resultaten der PIMS-Studie argumentiert. Dem kann entgegen gehalten werden, dass die Risiken (neuer Markt **und** neue Technologie) besonders hoch sind, und dass daher die Erfolgsaussichten entsprechend einzuschätzen sind. Zur Bedeutung der PIMS-Studie im globalen Hightech-Marketing verweisen wir auf das Buch von Kadish [Kadish, J. E., Global High-Tech Marketing, Boston/London: Artech House, 1993, p. 29-47].
e. Schicht, R.: Leistungssysteme in High-Tech-Märkten, Dissertation Universität St.Gallen Nr. 1440, Zürich: ADAG, 1993
f. Sogenanntes Ankündigungsmarketing ist typisch für Hightech-Märkte: Es dient zur Abschreckung der Kunden vor dem Kauf bei der Konkurrenz (z.B. Microsoft [Ankündigung neuer Produkte lange vor deren Freigabe zum Verkauf] und Intel [Bekanntgabe zukünftiger Preissenkungen]).

Aus diesem generellen Hightech Marketingkonzept leiten sich zwei spezialisierte Marketing-Konzepte ab: ein erstes für die Anbieter von FV-Bauteilen und ein zweites für die Anbieter von FV-Technologie.

4.3.1 Marketingkonzepte für FV-Technologie und FV-Bauteile

Der Unternehmer hat grundsätzlich die Wahl entweder die FV-Technologie oder Bauteile, die mit dieser Technologie hergestellt werden, oder beides zu vermarkten. Klein- und Mittelunternehmen haben oft nicht die notwendigen Mittel zur Gewährleistung der rechtlichen Absicherung und zur Durchsetzung der Technologieführerschaft. Sie werden eher das Geschäftsmodell der Vermarktung von Bauteilen wählen, denn es bietet die Chance grösserer, dauerhafter Wertschöpfung.

Nachfolgend legen wir je ein Marketingkonzept für die **Anbieter von FV-Bauteilen** (Tabelle 4-3, „Spezifika im Marketingkonzept für die Anbieter von FV-Bauteilen“, auf Seite 47) und von **FV-Technologie** (Tabelle 4-4, „Spezifika im Marketingkonzept für die Anbieter von FV-Technologie“, auf Seite 49) vor. Beide sind aus dem allgemeinen Hightech Marketingkonzept Tabelle 4-2 abgeleitet. Wir führen jedoch nur diejenigen Punkte aus dem allgemeinen Konzept auf, die für die FV-Technologie spezifisch vertieft werden müssen.

4.3.1.1 Marketingkonzept für Anbieter von FV-Bauteilen

Marketingkonzept für Anbieter von FV-Bauteilen:

Schritte im Marketingkonzept	*Handlungsempfehlungen zur Vermarktung von Bauteilen aus FV*
1. Vorgaben des Unternehmens für das Marketing	Die Unternehmensstrategie soll als wichtiges Element die Sicherstellung der Technologie- oder Marktführerschaft neben der Rentabilität enthalten.
3. Marktanalyse: Trends, Kunden, vertikale Marktpartner und Konkurrenten, attraktive Stossrichtungen	Auswahl attraktiver Markt- und Kundensegmente nach dem Kriterium „hohe Innovationsneigung“ (bspw. „Technologiegegeisterte“), und solche mit hohem Innovationsbedarf. Letzterer geht i. A. mit vielen ungelösten Problemen in einer Branche einher. Eine hohe Affinität zu den anvisierten Branchen ist von Vorteil. Kooperationen zur gemeinsamen Problemlösung können ein komparativer Konkurrenzvorteil sein.
4. Quantitative und qualitative Marketingziele (langfristig)	In der Einführungsphase sind Kunden oder Kundengruppen zu identifizieren, die aufgrund ihres Know-how, Status in der Branche oder ihrer Marktmacht selber in der Lage sind, den Innovationsentscheid zu treffen und im Markt durchzusetzen.

Tabelle 4-3: Spezifika im Marketingkonzept für die Anbieter von FV-Bauteilen

Schritte im Marketingkonzept	*Handlungsempfehlungen zur Vermarktung von Bauteilen aus FV*
5. Marketinginstrumente für die Zielverwirklichung (mittelfristig)	Die wichtigsten Stellhebel finden sich in der Marktleistungsgestaltung und Kommunikation: In der Wahrnehmung des Kunden muss die Innovation vorteilhafter sein als das, was sie ersetzt: Die Summe aller Vorteile einer Innovation muss die Summe aller Nachteile (wie Investitionen, Umstellungskosten für Anlagen, Prozesse und Angebotsstrukturen usw.) weit übertreffen.
	Besonders im technischen Bereich ist auf die Kompatibilität mit bestehenden Standards zu achten; es sei denn, man ist in der Lage, sogar neue Standards zu setzen.
	In der Wahrnehmung des Kunden soll die Komplexität, d.h. die Schwierigkeiten beim Verständnis und beim Gebrauch einer Innovation, möglichst gering sein. Zielgruppengerechte Erklärung, bewusste Vereinfachung komplexer Zusammenhänge und das Verbergen der Vielschichtigkeit in einem ergonomischen Design sind nützliche Massnahmen. Einfache und unter allen Umständen sichere Bedienung (Produktehaftpflicht) ist anzustreben.
	Zur positiven Wahrnehmung des Kunden gehört die Möglichkeit des Anschauens und Ausprobierens einer Innovation. Vorführungen an Messen und Ausstellungen sind bewährte Hilfsmittel. Der Betrieb von Demonstrationslabors (Kundenlabors) und von Pilotanlagen ist zwar teuer, kann aber zentral für den Erfolg sein.
	Die Beobachtbarkeit und Sichtbarkeit der Innovation durch Dritte ist ein weiteres Erfolgselement. Die Teilnahme an Messen, Ausstellungen und Fachkongressen ist eine wichtige Marketingmassnahme.
	Gutes Design mit grosser Ausstrahlung und hoher Anmutungsqualität setzt sich auch im Industriegüterbereich langsam durch und fördert den Absatz.

Tabelle 4-3: Spezifika im Marketingkonzept für die Anbieter von FV-Bauteilen

4.3.1.2 Marketingkonzept für Anbieter von FV-Technologie

Das Vermarktungskonzept für **FV-Technologie** unterscheidet sich stark von demjenigen für FV-Produkte. Dafür sind die fundamentalen Unterschiede zwischen Technologie- und Produktmarketing verantwortlich, wie sie in Tabelle 4-1 dargestellt sind.

Marketingkonzept für Anbieter von FV-Technologie:

Schritte	*Handlungsempfehlungen zur Optimierung der Vermarktung von FV-Technologie*
1. Strategiefestlegung	Strategische Ziele des Technologiemarketing und -managements (z. B. Sicherstellung des Marktbezugs von Forschungsprojekten durch Einbinden von Industriepartnern, Mittelbeschaffung für die Forschung, Teilhabe am Erfolg von Spinoffs und Startups).
2. Technologie- und Kapazitätsevaluation	Strukturierung der Technologien in Zwischen- und Endprodukte (Technologieinventar). Technologieportfolios nach geschätzter Technologieattraktivität und -stärke. Bezeichnung von Kernkompetenzen des Instituts oder der Forschungsgruppe. Identifikation attraktiver Technologien/Forschungsresultate für eine Vermarktung. Inventar der Geräte und Methoden. Zusammenfassen des Stands der Technik, Literaturrecherche, Patentrecherche. Beurteilung der verfügbaren Kapazitäten im Zeitablauf (Einstellung neuer Mitarbeiter, Know-how-Abfluss, konkurrierende Projekte, Ausbaupläne, Beschaffung neuer Geräte usw.).
3. Marktevaluation	Identifikation und Struktur von denkbaren Abnehmermärkten. Portfolio der Technologien (vgl. oben) nach Marktattraktivität und relativer Marktposition. Identifikation attraktiver Marktchancen für die Technologien. Identifikation internationaler Absatzmärkte. Schätzung potenzieller Marktgrössen und Absatzchancen in den definierten Segmenten. Preiskonzept für Know-how Übertragung (Patente, Lizenzen), Sachgüter und begleitende Dienstleistungen [vgl. Hagemann, O. N., Innovationsmarketing für technologieorientierte kleine und mittlere Unternehmen, Wiesbaden: Gabler, 1999, p. 294–304]. Analyse konkurrierender Technologien und konkurrierender Forschungsgruppen. Analysieren, ob eventuell ganz neue Märkte erschlossen werden können (vgl. Walkman von Sony).
4. Kundenevaluation	Expertengespräche mit potentiellen Abnehmern über Technologiebedarf, Bereitschaft zum Transfer und zur Weiterentwicklung usw. Identifikation potenzieller Industriepartner in attraktiven Teilmärkten.

Tabelle 4-4: Spezifika im Marketingkonzept für die Anbieter von FV-Technologie

Schritte	*Handlungsempfehlungen zur Optimierung der Vermarktung von FV-Technologie*
5. Strategische Vorverhandlung	Zusammenstellung des Angebots in einer attraktiven Präsentation, ohne wenn und aber, klar und präzis. Produkt- und Technologievorteile müssen zusammenfallen. Für Fragen, die noch nicht beantwortet werden können, soll wenigstens der Lösungsweg sichtbar gemacht werden. Erklärung des Nutzens. Strategische Vorverhandlung mit potenziellen Partnern. Projektentwurf mit dem Technologiepartner.
6. Projektscreening	Kritische Überprüfung von Machbarkeit, Kosten, Ertragsaussichten, Erfolgschancen und des Timing von verschiedenen Projekten aus Vorverhandlungen. Auswahl der attraktivsten Projekte gemäss Ressourcenbedarf und Wahrscheinlichkeit des Erfolgs.
7. Lösungsentwicklung der Technologiezusammenarbeit	Vertragsverhandlungen. Effiziente Führung des technologischen Projekts gemäss den mit den Partnern vereinbarten Meilensteinen. Know-how-Schutz.
8. Transferprojekt mit dem Partner	Realisierung des Transferprojekts auf Basis eines Projekt- oder Businessplans. Gemeinsame Optimierung und Verwertung der Resultate (Patente, wissenschaftliche Arbeiten).
9. Gemeinsames Wachstum von Anbieter und Partner	Ausbau der Zusammenarbeit und beidseitiges Engagement und Erfolg.

Tabelle 4-4: Spezifika im Marketingkonzept für die Anbieter von FV-Technologie

Jede Marketingkonzeption verlangt die Analyse der potenziellen Märkte und Kunden sowie deren Bedürfnisse. Diesem Projekt liegt eine inside-out-Betrachtungsweise zugrunde. Sie geht von der FV-Technologie und nicht von bekannten oder latenten Kundenbedürfnissen in den Märkten aus. Weil die klassische Marktforschung unter diesen Bedingungen oft versagt, sind andere Ansätze notwendig, um an entscheidungsrelevante Informationen zu neuen Märkten zu gelangen. Dieser Fragestellung widmet sich das nächste Kapitel.

5 Solutions Looking for a Problem

Dieses Kapitel stellt eine allgemeine Methode vor, deren Anwendung die systematische, erfolgreiche Suche nach bisher unbekannten Produkten und Märkten für eine neue Technologie ermöglicht. Sie löst damit die schwierige Aufgabe, zu einer innovativen Technologie die passenden Märkte und Kunden zu finden **(solutions looking for a problem).** Die Methode muss effizient sein, damit sich der Einsatz im Unternehmen lohnt.

Wir wenden diese Methode danach auf die FV-Technologie an und stellen eine Liste attraktiver Produkte für das Reverse Engineering mit FV-Werkstoffen zusammen.

Das Unterkapitel „Empfehlungen zum Markteintritt durch Hightech KMU“ auf Seite 68 enthält handlungsleitende Hinweise für Unternehmen, die sich dieser Technologie widmen möchten.

Eine abschliessende Würdigung skizziert die Fortschritte in fertigungstechnischer und wirtschaftlicher Hinsicht, die aus dem vorliegenden Projekt resultieren.

5.1 Solutions looking for a problem

Die traditionelle Marktforschung kann die Frage im allgemeinen nicht beantworten, in welchen Märkten welche wirtschaftlich relevanten, latenten Bedürfnisse existieren, die mittels der zu vermarktenden Technologie befriedigt werden könnten[31]. Erschwerend kommt hinzu, dass oft nur ausgewiesene Branchenspezialisten die eigentlichen Probleme kennen, die einer Lösung harren[32].

Es liegt eine typische Schnittstellenproblematik zwischen Markt und Technik vor, die es zu lösen gilt. Das bedingt eine sehr enge Zusammenarbeit von Technik und Marketing, wie wir am Beispiel der FV-Technologie gleich zeigen werden.

Eine Vorbemerkung: **Technologie an sich ist wertfrei**. Dazu sagt Herbert Kroemer, der Erfinder der Laserdioden (LED), Nobelpreisträger für Physik des Jahres 2000: "**The Futility of Predicting Applications**: The principal applications of any sufficiently new and innovative technology always have been and will continue to be applications created by that new technology." Er fährt fort: "Certainly when I thought of the heterostructure laser, I did not intend to invent compact disk players. I could not have anticipated the tremendous impact of fiber-optic communications. The person who comes up with the applications thinks differently than the scientist who lays the foundation."[33]

31. Vgl. Lender, F. (1991): Innovatives Technologie-Marketing, Göttingen: Vandenhoeck und Ruprecht.
32. In der Hörgerätebranche sind dies beispielsweise: Die Energieversorgung, die akustische Rückkopplung und die Verschmutzung der Geräte.
33. Vgl. Perry, S. T.: Not just the blue sky, in: IEEE Spectrum, June 2002, New York, IEEE, p.32.

Den richtigen Einstieg in die Problemlösung gibt Fritz Zwicky mit der Methode der **‚morphologischen Feldüberdeckung‘**, populär auch ‚morphologischer Kasten‘ genannt[34], vor. Sie verlangt zur Lösung einer Aufgabe oder eines Problems die ‚gründliche Erforschung **aller** zwischen den Festpunkten des Ausgangswissens gelegenen Gebiete‘[35].

Im vorliegenden Fall bedeutet das die Untersuchung **aller** in Frage kommender Produkte, die sich mit FV-Hohlkörpern herstellen lassen. Das sind prinzipiell Zehntausende, wenn nicht mehr.

Es stellt sich die praktische Frage, wo man die Liste aller Produkte herbekommt. Man kann beispielsweise die Produktverzeichnisse aus kommerziell erhältlichen Branchenregistern heranziehen. Dieses Vorgehen bringt sogar noch weitere Vorteile: Aus praktischen Gründen ist es besser, wenn man nicht von allen Produkten ausgeht, sondern von den industriellen Hauptbranchen, und nur die Produkte aus ausgewählten Branchen genauer untersucht. Denn es gibt vielfach ganze Branchen, deren Produkte kaum in Frage kommen. Diese blendet man aus und es gelingt so die Komplexität früh zu reduzieren. Ein weiterer Vorteil der Arbeit mit Branchenregistern besteht darin, dass man die Schlüsselfirmen einer Branche namentlich schnell identifizieren kann. So hat man für die Marktforschung auch gleich geeignete Interviewpartner.

Anstatt mit Branchenregistern lässt sich diese Teilaufgabe alternativ auch mit der Hilfe von Patentdatenbanken lösen. Letztere Vorgehensweise hat den Vorteil grösserer Nähe zum Expertenwissen, jedoch den Nachteil grösserer Ferne zu den Märkten.

Gemäss F. Zwicky findet man die **geeignete(n) Lösung(en)** „indem man sich nicht nur um die **Totalität aller möglichen Lösungen**, sondern auch um die **wesentlichen Beziehungen** dieser Lösungen kümmert“[36].

Es gibt **drei wesentliche Beziehungen** bzw. Fragestellungen in der Menge der Lösungen, die zu untersuchen sind[37]:

1. Welches sind kommerziell-technisch relevante Anwendungen und Funktionen, die sich mit der betrachteten Technologie prinzipiell erfüllen lassen und ein generelles oder spezielles Problem in Märkten und Branchen zu lösen helfen (Wertversprechen (value proposition) der Technologie)?
2. Welches sind alternative, konkurrierende Technologien, welche die o.g. Applikationen und Funktionen prinzipiell gleichermassen wirtschaftlich erfüllen können und zur Problemlösung geeignet sind (Wertversprechen konkurrierender Technologien)?

34. Zwicky, F. (1989): Entdecken, Erfinden, Forschen imMorphologischen Weltbild. Baeschlin, Glarus.
35. Ebenda, p. 46.
36. Ebenda, p. 42.
37. Vgl. Abell, D. J. (1980): Defining the Business. The Starting Point of Strategic Planning. Prentice Hall, Englewood Cliffs.

3. In welchen Markt- und Kundensegmenten stellen diese Applikationen und Funktionen einen Vorteil aus Sicht des Kunden dar (Technologienutzen aus Sicht des Marktes sowie der Anwender/Kunden)?

Bei diesem Vorgehen steht nicht die Technologie im Zentrum der Betrachtungen, denn diese ist an sich wertfrei, sondern deren Wertversprechen/Wertbeitrag und deren vom Kunden[38] – im Vergleich zur Konkurrenz – wahrgenommene Nutzen.

Weil es genau drei wesentliche Beziehungen gibt, die es zu analysieren gilt, eignet sich dieser Ansatz ausgezeichnet zur grafischen Visualisierung: Wir nennen sie den Hightech Würfel.

Ziel ist es, mittels der wesentlichen Beziehungen im Würfel einen weiteren Produktfilter aufzustellen, der die (potenziell) technisch und kommerziell attraktiven Produkte und Märkte erschliesst.

5.2 Der Entwurf des Hightech Würfels

Wir erläutern den Entwurf des Hightech Würfels gleich am Beispiel der Faserverbundtechnologie (siehe Bild 5-1).

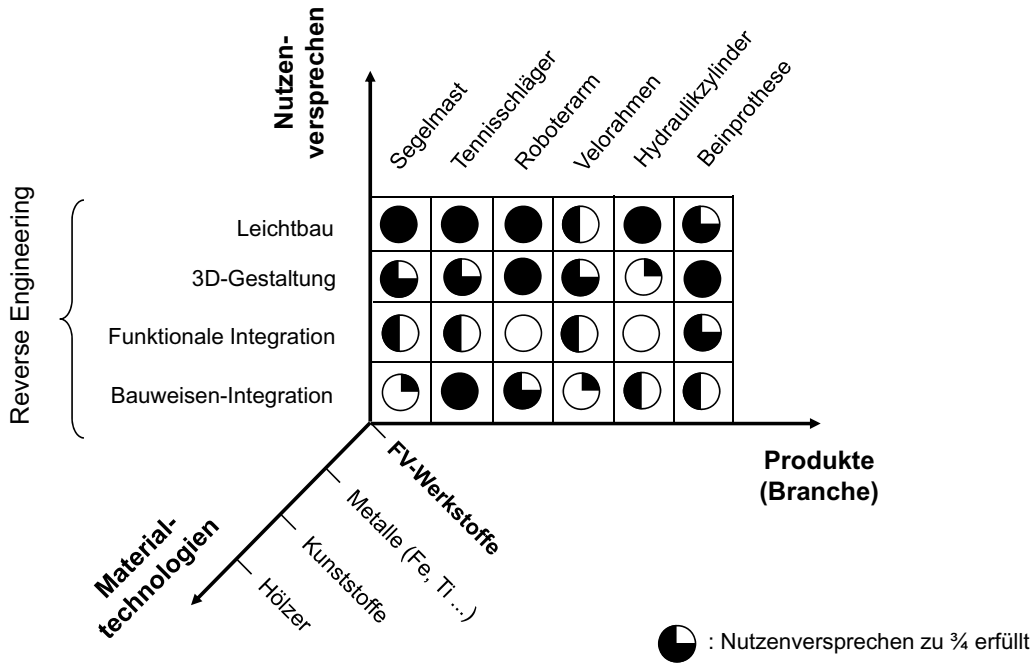

Bild 5-1: Hightech Würfel für Faserverbund

38. Kunden sind die Anwender/Hersteller der Technologie oder die Kunden in nachgelagerten Märkten, bis hin zum Konsumenten.

Die erste wesentliche Beziehung: Auf der vertikalen Achse sind diejenigen kommerziell-technisch relevanten Applikationen aufgeführt, die sich mit der betrachteten Technologie (Faserverbund) prinzipiell erfüllen lassen und die ein generelles oder spezielles Problem in Märkten und Branchen zu lösen helfen (Nutzen- bzw. Wertversprechen (value proposition) der Technologie).

Das Herausschälen des **Nutzenversprechens/Wertversprechens des Anbieters der Technologie** für den Anwender/Kunden stellt eine echte Herausforderung dar. Es kann nur in enger Zusammenarbeit von Technik und Marketing technologiegerecht und marktgerecht aufbereitet werden. Entgegen landläufiger Vermutungen findet man auf dieser Achse weder die physikalisch-chemischen Alleinstellungsmerkmale, wie Steifigkeit und Festigkeit der FV-Werkstoffe, noch die in Frage kommenden Endprodukte, sondern Begriffe, die den erwarteten wirtschaftlichen Nutzen beschreiben.

Die FV-Technologie soll – abgesehen von ganz neuen hightech Bauteilen – beim **Reverse engineering** bestehender Produkte nutzenstiftend zum Einsatz kommen. Nutzen für den Anwender, der Reverse Engineering betreiben will besteht in den Funktionen **Leichtbau, 3D-Gestaltung, Funktionale- und Bauweisen-Integration**.

Die Funktionen (Nutzenkomponenten) auf der Achse ‚Applikationen' stellen den Filter dar, der nötig ist, um aus der Menge aller denkbaren Produkte diejenigen herauszufischen, für die ein echtes Wertversprechen dank der Technologie existiert.

Die zweite wesentliche Beziehung: Dies sind die konkurrierenden Material-Technologien, die prinzipiell das gleiche Nutzenversprechen erfüllen können. Sie sind auf der zweiten Achse des Würfels abgetragen, die nach vorne aus der Figur herausragt. Konkurrenten auf dem Werkstoffsektor sind die Metalle und Kunststoffe, aber auch Holz. Die Konkurrenz-Technologien engen die Menge der in Frage kommenden Produkte weiter ein.

Dies ist im vorliegenden Fall ein weiterer Filter, der die Menge aller für das Reverse Engineering mit Hohlkörpern aus FV-Werkstoffen grundsätzlich geeigneter Produkte zusätzlich eingrenzt.

Die dritte wesentliche Beziehung: Sie besteht in der Menge aller Produkte, die einen **Technologienutzen aus Sicht des Anwenders/Kunden** im Markt oder einer Branche, wie beispielsweise Fahrzeugbau, tatsächlich bieten. Hier wird das Nutzenversprechen, eventuell in unterschiedlichem Ausmass, erfüllt. Die nach rechts weisende, dritte Achse trägt daher die Beschriftung Produkte bzw. Branchen.

Die Zweckmässigkeit dieser Darstellung kann an Hand bekannter, erfolgreicher Produkte aus FV-Hohlkörpern kontrolliert werden. Im Bild 5-1 ist eine ganze Reihe von bestehenden FV-Produkten auf der horizontalen Achse eingezeichnet. In

den Schnittpunkten mit Komponenten des Wertversprechens findet man teilweise oder ganz ausgefüllte Kreise. Sie symbolisieren auf einer ordinalen Fünferskala den Erfüllungsgrad des Wertversprechens in Bezug auf die entsprechende Komponente. Ein hoher Erfüllungsgrad des Nutzenversprechens ist ein Mass für die Attraktivität eines Marktes, neben der Marktgrösse, dem Marktwachstum, der Zugänglichkeit usw.

Es gilt für jede der konkurrierenden Werkstofftechnologien eine analoge Projektion aufzustellen. Sie wurden hier aus Gründen der Übersichtlichkeit weggelassen. Diese Diagramme aufzustellen bedingt viel technisch-kommerzielles Wissen, das oft nur bei Spezialisten, d.h. bei den Anbietern im Markt, zu finden ist. Der direkte Vergleich der verschiedenen Projektionen gibt dem Technologieanbieter wichtige Hinweise auf die Erfolgsaussichten des Wertversprechens und damit des Produkts im Markt.

Der Hightech Würfel ist die Methode zum Herausfiltern derjenigen Produkte, welche die grössten Erfolgsaussichten im Markt haben. Im nächsten Abschnitt wenden wir sie an, um aus einer Produktdatenbank mit Tausenden von Produkten und Halbzeugen geeignete Kandidaten für das Reverse Engineering mit Hohlkörpern aus FV herauszufiltern.

6 Produkte und Märkte für Faserverbundtechnologie

6.1 Bestehende Produkte und Märkte für Faserverbundbauteile

Die FV-Werkstoffe werden in die Klassen der **composites** und der **advanced composites** eingeteilt[39]. Für uns sind nur die **advanced composites** von Interesse, denn nur sie eignen sich zur Herstellung von Hightech Strukturbauteilen, wie Rotorblätter in Windkraftwerken oder Strukturen von Luftfahrzeugen. Es sind Hochleistungsfaserverbundwerkstoffe, die sich im Wesentlichen durch folgende Punkte auszeichnen:

- hoher Faservolumengehalt gegen 60%
- homogene Faser- / Matrixverteilung
- lunkerfreies Laminat
- hochsteife und hochfeste Faserwerkstoffe
- zähe, (hoch)temperaturbeständige, flammbeständige Matrices.

Die **advanced composites** sind das ökonomische ‚Highend' der FV-Werkstoffe. Zum Weltmarktvolumen tragen sie bezogen auf die Stückzahlen zwar nur 5 Prozent bei, bezogen auf den Wert sind es jedoch 20 Prozent. Das Weltmarktvolumen betrug im Jahr 2004 geschätzt ca. USD 3.6 Mrd., bei einer jährlichen Steigerungsrate von etwa 10 Prozent[40].

Dieses Wachstum wird durch zwei Faktoren getrieben: (1) den Ersatz von Metallen durch leichtere Materialien, und (2) den Bedarf nach Materialien mit **besseren** technischen Eigenschaften für neue Designs.

Die FV-Technologie ist seit Jahrzehnten etabliert und es existiert eine Vielzahl von erfolgreichen Anwendungen. Die wichtigsten Abnehmerbranchen und typische Anwendungen, Bauteilfunktion oder Produkte sind in der folgenden Tabelle 6-1 aufgeführt. Nicht alle der aufgeführten Anwendungen sind den ‚advanced composites' zuzurechnen.

Bei der Durchsicht fällt auf, dass bereits heute ein breites Spektrum industrieller Anwendungen mit FV-Technologie abgedeckt wird; bei vielen handelt es sich jedoch um Spezialanwendungen. Es ist wichtig festzuhalten, dass die **Diffusion dieser Technologie in eigentliche Massenmärkte**, speziell im Automobilbau, noch nicht stattgefunden hat.

39. Das Internet ist auch hier eine nützliche und vielfältige Informationsquelle: Vgl. http://www.acmanet.org/, die Hompage der American Composites Manufacturers Association.

40. Vgl. Referat von Herrn Jouni Heinonen, CEO Gurit Holding AG, anlässlich einer Tagung des Swiss Chapters der SAMPE am 24.11.2006 in Windisch.

Branche	*Anwendung - Funktion - Produkt*
Automobilbau – Serien	Aerodynamische Komponenten Veredelung Innenausstattung Getriebe (Renault) Fahrwerk (Stossdämpfer) Zubehör Antriebswelle (Renault) Caravanaufbauten Turbolader-Druckrohr
Automobilbau – Rennsport	Aerodynamische Teile Fahrwerk Monocock Strukturteile Tank Motorhauben Handprotektoren Fersenschutz Anlasser-Riemenabdeckungen Auspuffblenden Kotflügel
Flugzeugbau – Segelflugzeuge	Rumpf Flügel Ruder Sitz
Flugzeugbau – Militär	Diverse Komponenten: bis hin zu angenähert gesamten Flugzeug (B2-Bomber der USAF) Strukturbauteile für Flugsimulatoren
Flugzeugbau – Hubschrauber	Fast ausschliesslich Faserverbunde Rotorblätter
Flugzeugbau – Personen, Transport	Flügel-, Ruderteile Triebwerksklappen Innenausstattung Rumpf Diverse Komponenten
Flugzeugbau – Zeppelin	Gerippe
Humanmedizin	Röntgentische Injektionsnadeln Rollstuhl Künstliche Gelenke Nanotube knifes (Miniskalpell) Vakuumkammern für die Medizin-technik
Zahnmedizin	Verbund zwischen Knochen und Implantat

Tabelle 6-1: Klassische Produkte aus FV-Werkstoffen, geordnet nach Branchen

Branche	*Anwendung - Funktion - Produkt*
Transport – Schiene	Seitenklappen Sitzschalen Lehnen Radabdeckungen Teile der Innenausstattung Front- und Heckschürzen Waggonkabine
Sport/Freizeit – Leichtathletik	Stabhochsprung Hochsprung Turngeräte
Sport/Freizeit – Tennis	Racket
Sport/Freizeit – Fahrrad	Räder Rahmen
Sport/Freizeit – Alpin	Langlaufski Ski Rodel Snowboard Skistöcke Schneeschuhe Pickel, Eiswerkzeug
Sport/Freizeit – Verschiedenes	Platten für Skater-Anlagen Rückenpanzer Modellbau Zeltgestänge
Elektrotechnik – Elektronik	Windkraft (Propeller) Turbinenblätter (Wasserkraft) Notebook-Computer Verschalung Schaltschränke Träger von Hochspannungsisolatoren CFK-Bandagen für Hochgeschwindig-keits-Elektromotoren Antennenschutz Strahlerverkleidungen Reinraumkisten mit ESD-leitfähiger Oberfläche
Bauwesen	Schutzhelme Betonarmierung Fussgängerbrücken Leuchttürme Rohrleitungssysteme Behälter in Kraftwerken Pionierbrücken

Tabelle 6-1: Klassische Produkte aus FV-Werkstoffen, geordnet nach Branchen

Branche	*Anwendung - Funktion - Produkt*
Maschinenindustrie	Webstuhl (Webblatt, Greifer) Kinematikgestänge für Industrierobotik Kabelschlepphalterungen
Schiffsbau	Kanu, Kajak Kleine und mittlere Yachten Segelschiffe (Rumpf, Masten) Unbemannte U-Boote für die Ozeanforschung Masten für Jollen und Kielbäume Riggkomponenten (Salinge, Topgalgen) Relingstützen Reitbalken
Wasserbehälter	Aquarien Badewanne/Whirlpool Bassins Gartenteiche Wassertanks
Verschiedenes	Reisekoffer Violinkasten / Koffer für Musikinstrumente Blattfedern Bettfedern Werbefiguren Dirigenten-Taktstöcke Garagentore Deckel für Schadstoffbehälter Klärwerkabdeckungen „Kälber-Iglus“ (Behausung für einzelne Nutztiere) Hundehütten Wellen und Walzen Kohlegleitlager Dichtungen

Tabelle 6-1: Klassische Produkte aus FV-Werkstoffen, geordnet nach Branchen

Nicht zuletzt auf Grund der grösseren Wertschöpfung dank hoher Technologieintensität, konzentriert sich diese Arbeit auf die **advanced composites**. Das heisst, dass einfache Produkte, wie Gartenteiche und Kofferraumeinsätze für Automobile, die ein Heimwerker selber herstellen kann, keine Beachtung finden werden.

Marktdaten zu Composites und Advanced Composites findet man in einer Reihe von kommerziell vertriebenen Publikationen von Martkforschungsinstituten sowie in vielen Quellen im Internet[41].

Hier die wichtigsten Fakten: In den Vierziger- und Fünfzigerjahren des letzten Jahrhunderts wurden Faserverbundwerkstoffe vorwiegend in der Rüstungsindus-

trie erstmals kommerziell und in grossem Massstab eingesetzt. Der Verbrauch stieg danach stetig von 160'000 Tonnen im Jahr 1960 auf 6.1 Millionen Tonnen im Jahr 2004 an. Von den Siebziger- bis zu den Neunzigerjahren trugen noch weitere Branchen zu dem Wachstum bei, mit der Folge, dass seit 1990 nicht mehr die Rüstung sondern die Maschinen- und die Transportindustrie die wichtigsten Abnehmer sind.

Ausgangspunkt der Wertschöpfungskette sind grosstechnisch hergestellte, hauptsächlich organische und auch anorganische Verbindungen. Diese werden entweder **bulk**, d.h. als Rohmaterial, oder vorgefertigt als Fasern, Gewebe usw. geliefert. Die Rohmaterialien sind im Allgemeinen keine chemischen Spezialitäten, sondern im Standardangebot grosser Chemiefirmen verfügbar. Prinzipiell sind es kostengünstige Kunststoffe. Unter dem Druck langfristig höherer Preise für das Ausgangsmaterial Rohöl und bedingt durch den besonders in der Luftfahrt zunehmenden Weltbedarf nach FV-Produkten, steigen die Kosten für das Ausgangsmaterial jedoch langsam an.

Zu den wichtigsten Lieferanten gehören die grossen, weltweit tätigen Chemiefirmen. Der Vertrieb und die Distribution von Harzen und Fasern sind ein globales Geschäft.

Die nachfragenden Unternehmen sind weltweit verstreut und von der Grösse her stark fragmentiert. Man findet einerseits grosse, multinationale Unternehmen, wie General Electric, Airbus und Boeing, und andererseits auch viele kleine und mittlere Unternehmen, wie die Konstrukteure von Yachten, Hersteller von Fahrradrahmen und Tennisschlägern.

In den USA gehören die Composite-Werkstoffe zu den Branchen mit überdurchschnittlichem Wachstum. Betrachtet man den Zeitraum von 1960 bis 2000, dann legte der Stahl vom Marktvolumen her um 70 % zu, Aluminium um 400 % und Composites sogar um 1500 %; in Relation dazu stieg das Brutto-Inlandsprodukt (GDP) im selben Zeitraum um 250 % an.

Anfangs dieses Jahrzehntes verlangsamte sich das Wachstum. Es wird zunehmend von ostasiatischen Ländern wie China und Indien getragen, und nicht mehr, wie zu Beginn, von den USA. Das durchschnittliche Wachstum während der letzten sechs Jahre betrug 3.6 Prozent. Auffallend ist, dass im Jahr 2001 sogar ein Rückgang von 4.8 Prozent stattfand. Klammert man dieses Jahr aus, so betrug das durchschnittliche Wachstum (hauptsächlich wegen Fernost) immer noch mehr als 6 Prozent, im Jahr 2004 sogar 8.7 Prozent. Das ist, verglichen mit dem globalen Wirtschafts-

41. Composites World, 2005, Sanjay Mazumdar: Composites Growth Realizing Its Global Potential. Gefunden am 23.5.07 unter http://www.compositesworld.com/ct/issues/2005/April/7851. This article is based on a February 2005 market report, Global Composites Market 2004-2010, published by E-Composites Inc., which estimates market size and forecasts trends for composite materials in various market segments and regions.

wachstum von 4 Prozent, ein überdurchschnittlicher Wert. Der Absatz wird im Jahr 2010 auf etwa 8 Mio. Tonnen ansteigen.[42]

Zusammenfassend: Der Markt für FV-Werkstoffe und FV-Produkte ist ein grosser, bedeutender Wachstumsmarkt. Es lohnt sich, in diesen Markt zu investieren.

Ziel dieser Arbeit ist es, dem Unternehmer handlungsleitende Empfehlungen für die Arbeit in diesem Gebiet zu geben. Daher ist es nötig eine detaillierte Analyse der Wertschöpfungskette vorzunehmen, mit dem Ziel, die Chancen und Risiken auf diesem Gebiet aufzudecken.

6.2 Wertschöpfungskette für Advanced Composites

Die Analyse der Wertschöpfungskette gibt einen wichtigen Einblick in die verschiedenen Stufen und Prozessschritte der CFK-Bauteilfertigung. Das Bild 6-1 stellt sie grafisch dar.

Drei Herstellphasen werden grob unterschieden:

1. Synthese des Polymers aus den Ausgangsmaterialien

2. Mischen und Verbinden von Polymer und Fasern

3. Formen/Gestalten der Bauteile sowie deren Bearbeitung.

Am Anfang stehen grosse Unternehmen der Kunststoffchemie. Sie sind die Lieferanten der Matrixmaterialen aus Duro- und Thermoplasten sowie der Fasern aus Glas, Kohlenstoff und weiteren Materialien, wie Aramiden.

Im nächsten Schritt wird die Faserverbundmatrix von den sog. Prepregherstellern für die Weiterverarbeitung vorbereitet. Die Umformung in Bauteile macht entweder ein spezialisierter Verarbeiter oder der Prepreghersteller selbst.

Die Verarbeiter formen die rohen FV-Materialien, die oft speziell zwischengelagert werden müssen, in anspruchsvollen thermischen und Vakuum-Prozessen in das eigentliche Bauteil um. Dieses wird entweder direkt an den Endkunden geliefert, oder es wird von Industriefirmen, im Bild mit OEM[43] bezeichnet, in grössere Systeme integriert.

Grössere Verarbeiter sind in der Lage, das gebrauchsfertige Matrixmaterial selbst zuzubereiten und die Wertschöpfung z.B. auf der Stufe Prepreg, abhängig von der

42. Die ausführlichen Berichte von Marktforschungsinstituten zu den Advanced Composites sind, gemessen an den Kosten dieses Projekts, unverhältnismässig teuer. Die letzten, frei verfügbaren Marktdaten, die von Marktforschungsinstitutionen stammen, beziehen sich auf das Jahr 2004 (siehe vorhergehende Fussnote). Sämtliche Beobachtungen des Markts weisen darauf hin, dass sich die dargestellte positive Entwicklung in den letzten Jahren dank der Luftfahrtindustrie noch beschleunigt hat.

43. OEM: Original Equipment Manufacturer, Endfertiger.

anzuwendenden Bauweise, selbst zu realisieren. Hier besteht eine Konkurrenzsituation.

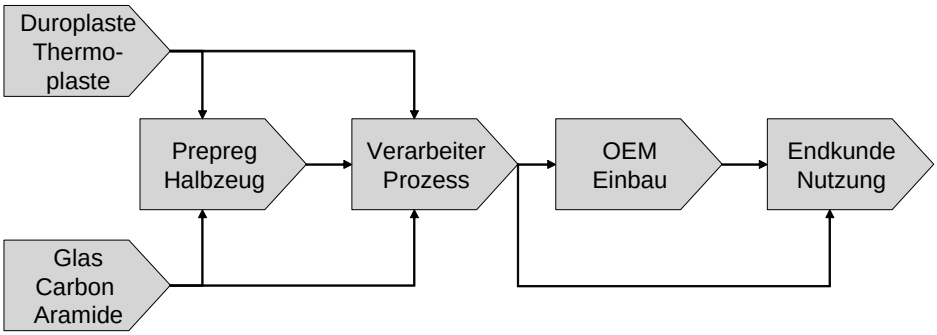

Bild 6-1: FV-Wertschöpfungskette; Quelle: Eigene Darstellung

Diese Darstellung legt einige Schlussfolgerungen zur möglichen Entwicklung der Märkte nahe. Dazu untersuchen wir die Situation der Akteure im Einzelnen:

Kunststoff- und Faserhersteller
Die Kunststoffhersteller (Matrix) sind grosse, global tätige Unternehmen. Für sie sind diese Märkte eigentliche Nischenmärkte, weil die umgesetzten Tonnagen relativ gering sind; eine Ausdehnung der Geschäftstätigkeit in Richtung Halbzeuge ist eher unwahrscheinlich.

Die Hersteller von Fasern kommen entweder aus der Textilindustrie oder sie haben sich schon in anderen Märkten, wie der Leiterplattenherstellung für die Elektronikindustrie, auf diese Werkstoffe spezialisiert. Es ist jedoch denkbar, dass sie sich später dafür interessieren könnten, ihre Wertschöpfung auf die Halbzeuge/Prepregs zu erweitern.

Prepreghersteller
Die Prepreghersteller ihrerseits werden kaum eine Rückwärtsintegration vornehmen, weil sie die Skaleneffekte der grossen Chemiefirmen nicht erreichen können. Jedoch ist es denkbar, dass sie sich das technische Wissen aneignen werden, um Vorwärtsintegration in Richtung ganzer Bauteile vorzunehmen. Dies hätte den Vorteil, dass der Schritt der Zwischenlagerung und des Transports des verbrauchsfertigen Rohmaterials zum Verarbeiter entfällt. Dem steht jedoch noch das hochspezialisierte Know How der Bauteilefertigung entgegen: Jedes Bauteil ist konstruktiv ein Unikat und die direkte Zusammenarbeit mit dem Kunden ist von zentraler Bedeutung für den Erfolg.

Verarbeiter von FV
Die Verarbeiter können sowohl Vorwärts- als auch Rückwärtsintegration betreiben. Das nötige Prozesswissen für die Rückwärtsintegration lässt sich aneignen; es ist noch nicht sehr stark spezialisiert. Was gegen die Vorwärtsintegration spricht, ist unter Umständen die Kenntnis fremder Produkte und Märkte oder vielfach der Marktzugang.

Der Herstellprozess von FV-Bauteilen ist sehr Know How intensiv; besonders anspruchsvoll sind Anforderungen bei der Auslegung und dem Design von Strukturbauteilen in Leichtbauweise.

6.3 Substitution bestehender Produkte mit Faserverbund

Der zukünftige Markterfolg der FV-Technologie beruht nicht nur auf dem Bedarf nach neuen Produkten mit exotischen Spezifikationen, sondern auch darauf, inwiefern es gelingen wird, bestehende Bauteile aus anderen Werkstoffen durch FV-Bauteile zu ersetzen. Als Prototyp und Referenz dient im Projekt **InnoFaser** der oben erwähnte Roboterarm für Verpackungsmaschinen.

Folgendes gilt es zu klären: Unter welchen Umständen ist es wirtschaftlich, bestehende Produkte durch den Einsatz von Faserverbundwerkstoffen aufzuwerten, d.h. sie schneller, besser oder billiger zu machen?

Es ist klar, dass bestehende Werkstoffe, wie Stahl, Messing und Aluminium, nicht einfach 1:1 durch Faserverbundwerkstoffe ersetzt werden können. Generell ist ein komplettes **Reverse engineering** eines Bauteils erforderlich. Die Kosten für das aufwändige Reverse engineering treiben den Preis des neuen Bauteils in die Höhe. Die FV-Produktion beinhaltet einen hohen Anteil lohnintensiver Handarbeit. Sie eignet sich eher für kleinere Stückzahlen (< 30´000 Einheiten/Jahr)[44]. Ein weiterer Kostentreiber sind die Werkzeugkosten in der laufenden Produktion. Der Einsatz von Faserverbundwerkstoffen garantiert keineswegs niedrigere Herstellkosten im Vergleich zu herkömmlichen Lösungen. Im Gegenteil, die Kosten für das reine Bauteil liegen üblicherweise höher.

Es gilt daher andere als rein preisliche Vorteile einer Lösung in Faserbund aufzuzeigen. Mehrnutzen für den Anwender besteht beispielsweise in den speziellen, herausragenden technischen und physikalischen Eigenschaften (z.B. höhere Schwingfestigkeit, grössere Steifigkeit bei kleinerer Masse) und in den höheren Leistungen (z.B. Langlebigkeit) der Faserverbundteile. Einen Mehrwert bilden somit Leistungsmerkmale, wie technisch höhere Performance des gesamten Systems, und damit auch die Möglichkeit eine Differenzierung gegenüber der

44. Vgl. Kochendörfer R. / Treffinger P. / Gräf M. / Nedele M. Auf dem Weg zum emissionsfreien Fahrzeug, Beiträge des DLR Stuttgart, 5. Internationale Stuttgarter Symposium, 20.–22.2.2003, Stuttgart.

Konkurrenz. Auf die Möglichkeit massiver Gewichtsersparnis durch **Leichtbau** (Fahrzeuge, Engergiekosten) wird hier nochmals hingewiesen.

Allein die bessere technische Performance von FV-Bauteilen reicht nur in seltenen Fällen aus, eine Substitution bestehender Bauteile mittels FV wirtschaftlich zu begründen. Es gilt, weitere Nutzenaspekte aufzuzeigen.

Ein Alleinstellungsmerkmal der Faserverbundtechnologie besteht darin, dass in einem Faserverbundteil gleichzeitig mehrere Funktionen integriert werden können, die daraufhin in dessen Umfeld nicht mehr angegangen werden müssen (während beispielsweise die Lösung aus Metall noch Zusatzteile benötigt). Es ist daher von Vorteil, ein Bauteil in der Designphase eines Produkts nicht isoliert, sondern integriert in der Gesamtheit der gewünschten Funktionen und der Umgebung, zu betrachten.

Der zentrale Nutzenaspekt besteht schliesslich darin, dass das Faserverbundteil einen grösseren Teil der Wertschöpfungskette, als das bestehende Bauteil, übernimmt. Andere Komponenten der Umgebung können vereinfacht oder sogar ganz weggelassen werden. Damit wird die Gesamtlösung einfacher und das integrierte System stellt eine Gesamtersparnis dar, die den Einsatz der FV-Technologie letztlich auch von den Kosten her rechtfertigt. Beispiel dafür ist der Family-Van Espace der Firma Renault: Die Kardanwelle wurde aus Faserverbund hergestellt. Aufgrund des geringeren Gewichtes konnte ein Zwischenlager weggelassen werden. Die Konstruktion wurde einfacher und kostengünstiger.

Ein wichtiges Ergebnis des Projekts **InnoFaser** ist das Herausschälen der folgenden drei Voraussetzungen, die einzeln oder kombiniert den Einsatz von Faserverbundtechnologie in bestehenden und zukünftigen Produkten wirtschaftlich begründen können:

- **Die Realisierbarkeit von Leichtbauteilen und -strukturen**
- **Die Realisierbarkeit komplexer dreidimensionaler Strukturen**
- **Die Integration unterschiedlicher Funktionen und Bauweisen mit unterschiedlichen Materialien in einem Bauteil.**

Diese drei Punkte enthalten das Nutzenversprechen für den Anwender bzw. Kunden („value proposition“) und begründen damit letztlich den wirtschaftlichen Nutzen der FV-Bauweisen. Nicht die physikalisch-technischen Eigenschaften von Faserverbund begründen den Nutzen für den Anwender sondern die technischen Funktionen und Möglichkeiten, die sich daraus ergeben.

Die Suche nach diesen Nutzen-Argumenten war äusserst anspruchsvoll und wurde nur dank einer intensiven Zusammenarbeit von Technik und Marketing erfolgreich gemeistert. Der Spagat der Projektteilnehmer zwischen den teilweise gegensätzlichen Welten der Technik und des Marketing war äusserst spannend zu erleben.

Bei der Suche nach attraktiven Produkten und Märkten für die FV-Technologie dienen die Nutzen-Argumente als wichtiger Filter.

6.4 Expertengespräche Technik und Markt FV-Bauteile

Im Laufe des Projekts **InnoFaser** wurden strukturierte telefonische Interviews mit sechzehn verschiedenen im Faserverbund tätigen KMU in Deutschland durchgeführt. Ziel war, es die teilweise aus der Literatur gewonnenen Erkenntnisse zu Markt und Technik im FV zu vertiefen. Folgende Resultate scheinen trotz der geringen Stichprobe gesichert:

1. Die meisten Firmen sind hochspezialisiert und bieten nur einen Ausschnitt aus der ganzen Palette der FV-Dienstleistungen an. Genannt wurden: Entwicklung/ Konstruktion von Protoypen, Formenbau, Herstellung von Prototypen und Kleinserien, Klein- und Mittelserienfertigung, Substitutionskomponenten[45] und die Bearbeitung fertiger Bauteile sowie Reparaturen.

2. Firmen aus dem Fahrzeug- und Flugzeug- und Schiffbau, dem Maschinenbau und der Sportgerätebranche sind die am häufigsten genannten Abnehmer.

3. Die Palette der in FV-Technologie hergestellten Produkte deckt sich weitgehend mit den Inhalten der Tabelle 6-1.

4. Als komparative Konkurrenzvorteile wurden genannt: Technik-Know-how, Branchen-Know-how, Flexibilität, Leichtbau-Know-how, qualifiziertes Personal mit langjähriger Erfahrung, Prozess-Sicherheit, eigener Formenbau und Entwicklungspartnerschaften.

5. Zu den wichtigsten Erfolgfaktoren bei der Herstellung/Verarbeitung von Advanced Composites gehören: Know-how und Flexibilität (Eingehen auf die Kundenwünsche), eigene Verfahrenstechnik, hohe Qualitätstandards.

6. Bei den Anforderungen an die Produkte wurden oft genannt: Leichtigkeit, Festigkeit, Steifigkeit, freie Formbarkeit (3D). Geringe Kosten wurden nur einmal genannt.

7. Fast alle befragten Unternehmen können sich gut vorstellen, mit FV-Bauteilen auch in anderen Branchen aktiv zu werden.

Es gibt eine Community im Internet, **procarbon.net**; Sie ist jedoch nur für registrierte Mitglieder zugänglich. Hier erfolgt ein regelmässiger Erfahrungsaustausch in der Faserverbundtechnologie.

Zusammenfassung: Der Markt für FV-Bauteile ist ein attraktiver, aber stark fragmentierter Markt, in dem sich viele Klein- und Mittelunternehmen als Anbieter

45. Ersatz bestehender Bauteile durch solche aus Faserverbundwerkstoffen.

etabliert haben. Flexibles Eingehen auf Kundenwünsche und eine gutes Beherrschen der anspruchsvollen Prozesse im Prototypenbau und der Produktion sichern diesen Firmen eine attraktive Nische.

Es gilt jetzt, weitere attraktive Produkte und Märkte für die FV-Technologie zu finden. Wie man das systematisch macht, wird im folgenden Abschnitt gezeigt.

6.5 Neue Produkte und Märkte für die FV-Technologie

Die Methode, die wir zur Identifikation attraktiver Produkte und Märkte für das Reverse Engineering mit FV-Werkstoffen angewendet haben, ist in Kapitel 5 ausführlich dargestellt. Im Einzelnen geschah dies in den folgenden, sehr zeitintensiven Arbeitsschritten:

1. Als Datenbank zu industriellen Produkten, Branchen und Unternehmen diente der ‚Kompass'[46], ein weitverbreitetes Branchenregister, und die darin enthaltene Produkt-Klassifikation.

2. In einem ersten Schritt wurden in 10 Hauptbranchen 5'560 Produkte identifiziert, die prinzipiell in FV-Technologie hergestellt werden könnten.

3. Im zweiten Schritt wurden von sechs Experten daraus diejenigen Produkte herausgefiltert, bei denen die in Kapitel 5.2 genannten Nutzenversprechen des Reverse Engineering mit FV-Werkstoffen zum Tragen kommen. Diese Kriterien erfüllen knapp Tausend der 5'560 Produkte aus sieben Branchen voll oder zumindest teilweise. Ein Vergleich dieser Produkte mit klassischen FV-Produkten in Tabelle 6-1 zeigt, dass noch grosse Reserven vorhanden sind: Es ist noch nicht alles in Faserverbundtechnologie gefertigt worden, was unter Umständen technisch und kommerziell Sinn machen würde.

4. Im dritten Schritt wurde daraus eine Liste von noch ca. 100 Produkten extrahiert, die nach Meinung der Experten den grössten Erfüllungsgrad gemäss den genannten Nutzen-Kriterien aufweisen und sich am Besten für das Reverse Engineering mit FV-Technologie eignen. Aus dieser Einschätzung folgerten die Experten auch die grössten Chancen im Markt.

46. URL: www.kompass.com, Kompass Schweiz Verlag AG, Hagenholzstrasse 81, Postfach, CH-8050 Zürich-Oerlikon, Schweiz.

Das Ergebnis diese Prozesses ist die Produkteliste in der folgenden Tabelle:

Hauptbranchen	*Produkte*
Fahrzeugbau	Antriebswellen, Dreiräder für Invalide, Personenwagen, Fahrräder, Fahrradrahmen, Flugzeugmodelle, Flugzeugpropeller, Flugzeugteile, Tragflächen, Rumpfteile für Mannschaftskabinen, Flügel, Ruder, Helikopter, Höhenforschungsraketen, Kajak, Karosserien für Personenautos, Cabriolets, Karosserien für Spezialfahrzeuge und Einrichtungen, Katamarane, Kotflügel, Last-Helikopter, Leichte Lastautos, Leitwerke, Luftkissenboote, Militärflugzeuge, Motorräder, Motorradseitenwagen, Mountainbikes, Rennräder, Rollstühle, Ruderboote, Schiffsmasten und Zubehör, Segelboote, Segelyachten, Segelflugzeuge, Solar-Elektrofahrzeuge, Sportruderboote, Tanks, Tragflügelboote, Vorderradgabeln, Hinterradgabeln, Wasserflugzeuge
Konfektion und Ausrüstung, Schuhindustrie	Sturzhelme, Sicherheitsschuhe
Maschinenindustrie	Webstühle (Webblatt, Greifer), Roboterarme, künstliche Gelenke, Turbinenblätter (Wasserkraft)
Metallindustrie	Feuerlöscher für Automobile, Feuerwehrhelme, Flach- und Blattfedern, Handfeuerlöscher, Präzisionswaffen für Scheibenschiessen, Propeller (Windkraft), Sportwaffen, Schutzhelme, Turbinenblätter (Wasserkraft)
Sportartikel	Berg- und Touristenstöcke, Bobsleighs, Bogensport-Artikel, Eis- und Gletscherpickel, Eis- und Landhockeystöcke, Eispickel, Gleitfluggeräte, Hochsprungstäbe, Kanu, Kajaks, Langlaufski, Rodel, Schutzhelme für Sport und Freizeit, Skistöcke, Sportschlitten, Squash-Schläger, Tennis- und Badminton-Artikel, Tennisschläger, Wasserskis, Wassersportgeräte, Windsurfing-Geräte, Yachten, Zeltgestänge

Tabelle 6-2: Gesamtübersicht Produkte für das Reverse Engineering mit FV-Technologie mit Advanced Composites

Zur Beurteilung dieser Liste sind die folgenden Anmerkungen wichtig:

- Ein Vergleich der Tabellen 6-1 und 6-2 zeigt, dass in letzterer auch einzelne ‚klassische Produkte' aufgeführt sind, wie Antriebswellen, Roboterarme und Turbinenblätter. In diesen Fällen sind die Experten der Ansicht, dass der derzeitige Marktanteil der Teile aus Faserverbund gemessen am Gesamtmarktvolumen bei weitem noch nicht deren Vorteile widerspiegelt: Die Diffusion der FV-Technologie in diese Märkte befindet sich noch am Anfang.
- Ein Branchenregister wie der ‚Kompass' enthält mehr marktgängige Endprodukte als Halbfabrikate. Folglich fallen bei der angewandten Methode automatisch Tausende von spezialisierten Bauteilen und Halbfabrikaten, wie Gehäuse, Tanks und Kleinteile, durch das Raster, weil sie in keinem Register vorzufinden sind. Es gibt prinzipiell keine Methode, die diesen Mangel behebt. Das stellt jedoch keine Einschränkung dar. Vielmehr existiert an dieser Stelle noch ein weiteres Marktpotenzial für spezialisierte Technologiefirmen, das es zu erschliessen gilt.
- Die FV-Werkstofftechnologie ist eine reife Technologie. Entsprechend gering fällt die Anzahl der ‚Weltneuheiten' in der Tabelle 6-2 aus. Dies hat einen weiteren Grund: in den Neunzigerjahren des letzten Jahrhunderts waren viele amerikanische Hersteller gezwungen neue, d.h. nicht-militärische, Anwendungen und Märkte zu erschliessen.
- Wichtige Voraussetzung für den Einsatz in Massenprodukten ist ein Durchbruch in der Produktionstechnologie von FV-Bauteilen. Dies betrifft vor allem, aber nicht ausschliesslich, die Prozessautomation.

Fazit: Die FV-Technologie bietet noch genügend unausgeschöpftes Marktpotenzial für innovative Technologie Unternehmer.

An dieser Stelle fragt sich der interessierte Unternehmer sicher, „ob, womit und wie" er einen Eintritt in diese attraktiven Märkte wagen soll. Dies hängt stark von der Ausgangssituation des Unternehmens und von den angepeilten Markt-Produkt-Kombinationen ab.

Zwar sind die Klärung der aktuellen Situation und die Beantwortung aller mit dem geplanten Markteintritt zusammenhängenden Fragen sowie das Aufstellen eines Businessplans im Einzelfall wichtige Voraussetzungen für den späteren Erfolg. Die Resultate dieses Projekts und der Kontakt mit erfolgreichen Unternehmen in dieser Branche erlauben es dem Autor trotzdem, gewisse verallgemeinerte Handlungsempfehlungen zum erfolgreichen Markteintritt abzugeben.

6.6 Empfehlungen zum Markteintritt durch Hightech KMU

In diesem Kapitel zeigen wir, wie ein Hightech KMU in neue Faserverbund Märkte eintreten kann.

Unter Hightech KMU verstehen wir kleine und mittlere Unternehmen, die ‚hoch innovativ und/oder F&E-intensiv sind und/oder modernste und komplexe Produktionstechnologien einsetzen'[47].

In diesem Zusammenhang sind die folgenden Tatsachen empirisch belegt[48]:

- Nur ein kleiner Bruchteil der Hightech Unternehmen wächst schnell, jedoch übertreffen die Hightech Unternehmen die traditionellen Betriebe hinsichtlich Produktions- und Arbeitsplatzwachstum. Insbesondere werden erhebliche Produktivitätssteigerungen erzielt, was der langfristigen Absicherung der Arbeitsplätze dient.
- Im europäischen Raum waren im Jahr 2000 etwa 4 Prozent aller ungefähr 750'000 KMU mit 5 Millionen Beschäftigten in typischen Hightech Wirtschaftszweigen tätig. In der Schweiz gibt es heute knapp 300'000 KMU; mehr als 12'000 dürften Hightech KMU gemäss obiger Definition sein.
- Wichtige Erfolgsfaktoren sind ein frühzeitiges Diversifizieren der Produktpalette zum Zweck der Risikostreuung sowie eine starke Kundenorientierung, einschliesslich Kundenservice. Dazu gesellt sich die Internationalisierung, da die nationalen Märkte für Nischenprodukte oftmals zu klein sind.
- Generell gilt, dass der Zugang zu Finanzquellen für diese Hightech KMU schwierig ist.
- Hightech KMU haben es schwerer als Grossunternehmen, geeignete Fachkräfte zu engagieren.
- Die Zusammenarbeit mit Hochschulen und Forschungseinrichtungen ist zwar wichtig, jedoch ist der Nachholbedarf hier gross.
- Für Hightech KMU sind Netzwerke eine Notwendigkeit, um Innovationsprojekte durchführen zu können.

In den folgenden Unterkapiteln geben wir Handlungshinweise zu vier wichtigen Teilaspekten des Markteintritts:

- Produkt-/Marktkombinationen
- Geschäftstypen
- Geschäftsmodell
- Projektphasen.

47. Vgl. GD-Bericht der Europäischen Kommission: Hightech-KMU in Europa, in: Beobachtungsnetz der europäischen KMU 2002, Nr. 2, p. 7. Gefunden am 20.11.2008 unter: http://ec.europa.eu/enterprise/enterprise_policy/analysis/doc/smes_observatory_2002_report6_de.pdf
48. Ebenda, p. 7 ff.

6.6.1 Hinweise zu den Produkt-/Markt-Kombinationen

Im Laufe der Expertengespräche (siehe Kapitel 6-4) wurde ersichtlich, dass die typischen Verarbeiter von FV-Werkstoffen meistens hochspezialisierte KMU sind. Deren Leistungsangebot beschränkt sich – wegen der Spezialisierung in der Verfahrenstechnik und begrenzter Produktionskapazitäten – vielfach auf wenige Produkte. Sie nutzen bestehendes Technologie- und Marktwissen für die Herstellung und den Absatz von Produkten aus dem neuen Werkstoff. Neben der Realisierung innovativer Produkte in FV-Technologie lohnt sich auch die Substitution bestehender Branchenlösungen – das Reverse engineering bestehender Produkte – als wichtige Marktleistung.

Als Ausgangspunkt für die Suche nach weiteren Produkten und Anwendungen der FV-Technologie oder für einen Neueinstieg dient die Tabelle 6-2 mit der „Gesamtübersicht Produkte für das Reverse Engineering mit FV-Technologie mit Advanced Composites“ auf Seite 67.

Das Hightech Marketingkonzept in Tabelle 4-2 skizziert die grundsätzliche und systematische Vorgehensweise zur Klärung dieser Fragen. Die vorliegende Arbeit leistet bei der praktischen Umsetzung des Marketingkonzepts auf dem Gebiet der Advanced Composites wichtige Hilfestellung. Für den Unternehmer bestehen die grössten Erfolgsaussichten, wenn er sich auf folgende Punkte konzentriert:

1. Im Vordergrund steht das Reverse Engineering von bestehenden Produkten und nicht die Realisierung von Bauteilen mit exotischen physikalischen Eigenschaften.

2. Die Liste der bestehenden Produkte, die sich für das Reverse Engineering mittels Faserverbund eignen, ist endlich und überschaubar (siehe Tabelle 6-2). Es gilt die Wahl zu treffen: Je näher und affiner diese zum bestehenden Geschäft ist, desto einfacher wird voraussichtlich der Marktzugang sein und desto kürzer die Zeit, bis Rückflüsse von Geldmitteln aus dem Markt erfolgen.

3. Die Produkte in Tabelle 6-2 sind praktisch alle marktgängig und finden sich in Standardregistern mit Lieferanten. Das eröffnet die Chance, um mit bestehenden Produzenten, Händlern und Kunden in Kontakt zu treten und Marktaufklärung zu betreiben. Der Vorteil der Verwendung eines (Branchen-)Registers liegt in der Verknüpfung von Produkten, Branchen und Anbietern sowie einer namentlichen Liste aller Akteure in den bestehenden Märkten.

4. Zur Akquisition von Kunden im Markt gilt es, die vier Nutzenversprechen der Faserverbundtechnologie zu kommunizieren: Leichtbau, 3D-Gestaltung, Funktionale und Bauweisen-Integration (siehe Bild 5-1). Dies ist die korrekte Antwort auf die Frage des Kunden: „Nennen Sie mir den Grund, warum ich mein Bauteil zukünftig in Faserverbundbauweise realisieren sollte?“

Jetzt untersuchen wir, welche Geschäftstypen im FV-Geschäft überhaupt in Frage kommen.

6.6.2 Hinweise zu den möglichen Geschäftstypen

Die Klassifizierung des FV-Verarbeitergeschäfts in die vier Geschäftstypen nach Backhaus[49] liefert wichtige Anhaltspunkte für den Prozess der Vermarktung. Wir verweisen auf die Darstellung in Bild 6-2. Zu den grundsätzlichen Überlegungen, die hinter dieser Darstellung stecken, verweisen wir auf die Originalliteratur. An dieser Stelle diskutieren wir den aktuellen Bezug zum FV-Verarbeiter.

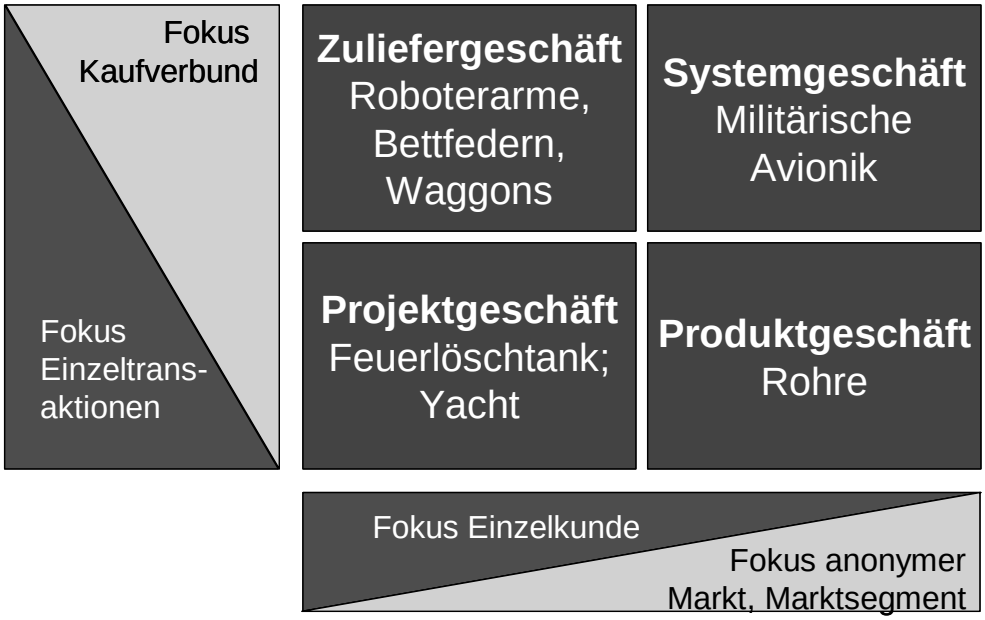

Bild 6-2: Geschäftstypologie der FV-Verarbeiter (vgl. Backhaus/Voeth 2007, S. 202.)

Produktgeschäft

Das Produktgeschäft ist gekennzeichnet durch Einzeltransaktion auf Massenmärkten. Hierfür eignen sich hochstandardisierte Bauteile oder Komponenten. Im Faserverbund betrifft dies vor allem Produkte wie Rohre oder Platten. Auch Federelemente kommen in Frage, wenn sie standardisiert werden können.

Viele verarbeitende Betriebe kommen typisch aus dem Produktgeschäft, z.B. mit Metallwaren oder Kunststoffteilen. Sie kennen diese Märkte gut und haben ihre Strukturen darauf ausgerichtet. Dies betrifft nicht nur den Vertrieb sondern auch die gesamte Verkaufsabwicklung, inklusive Vor- und Nachkalkulation.

49. Backhaus, K. / Voeth, M. (2007): Industriegütermarketing, 8. vollständig neu bearbeitete Auflage, München: Vahlen, p. 195 ff.

Im Allgemeinen kann jedoch der FV-Produzent langfristig nur über Kundenprojekte den Einstieg ins Produktgeschäft erreichen, denn die Anzahl der standardisierbaren FV-Bauteile ist überschaubar und der Konkurrenzdruck ist entsprechend hoch.

Projektgeschäft
Das Projektgeschäft ohne Kaufverbund kommt im Faserverbund sehr oft vor, weil die nachgefragten Produkte oft Einzelstücke und keine standardisierte industrielle Massenware sind.

Im Produkt- und dem weiter unten diskutierten Systemgeschäft bringt der Anbieter neben dem physischen Produkt **keine** zusätzlichen Leistungen zum Aufbau einer einzelnen Geschäftsbeziehung ein, da die Produkte standardisiert sind. Das Projektgeschäft hingegen stellt sich anders dar: es sind besonders anbieterseitig zusätzliche Leistungen bzw. Investionen in die Anbahnung der Geschäftsbeziehung notwendig. Diese Aufwände entstehen schon lange vor der eigentlichen Offertstellung und können nicht immer verrechnet werden. Aufgrund der technischen Komplexität müssen Spezialisten in die Akquisition und Offertenstellung mit einbezogen werden. Häufig sind auch Drittfirmen, beispielsweise zur Berechnung von Strukturbauteilen, gegen Entgelt einzubeziehen. Die beträchtlichen kommerziellen und technischen Risiken müssen bei der Offertenstellung einkalkuliert werden.

Die Transaktion ist, wenn sie zustande kommt, einzelkundenbezogen und projektbezogen. Das heisst, dass mit dem Ende des Projekts auch kein identisches Neugeschäft zu erwarten ist.

Für diesen Geschäftstyp existiert im Faserverbund kein transparenter Markt: Jedes Projekt muss neu akquiriert und im Unternehmen erarbeitet werden. Dies stellt hohe Anforderungen an die Marktkommunikation. Es gilt durch den Auftritt an Messen und Ausstellungen, Kongressen und Fachtagungen, sowie mittels Erfolgsgeschichten in den einschlägigen Fach- und Branchenzeitschriften eine hohe Präsenz zu zeigen. Dies stellt sicher, dass sich der Kunde im Bedarfsfall an den Namen des Anbieters erinnert.

Viel attraktiver ist für den Verarbeiter ein Geschäft mit Kaufverbund, d. h. mit Wiederkauf des gleichen Produktes: In der Grafik wird es als Zuliefergeschäft bezeichnet.

Zuliefergeschäft
Im Zuliefergeschäft investieren sowohl Anbieter als auch Nachfrager in die Geschäftsbeziehung. Der Nachfrager verlangt nach einem hochindividualisierten Produkt, das in namhafter Stückzahl in grössere Systeme, wie Flugzeuge, Verpackungsmaschinen und Windkraftwerke, integriert wird. Damit bindet sich einerseits der Nachfrager in Bezug auf Ersatz- und Nachfolgekäufe längerfristig an einen Lieferanten. Andererseits investiert der Anbieter durch individuell angepas-

ste Produkte, z.B. mit speziellem Design, gleichfalls längerfristig in die Geschäftsbeziehung.

Systemgeschäft
Der vierte Geschäftstyp im oberen rechten Quadranten in Bild 6-2 wird mit Systemgeschäft bezeichnet. Standardisierte Produkte werden in einem Massenmarkt mit Kaufverbund abgesetzt. Der Anbieter bzw. Verkäufer profitiert von der Tatsache, dass der Kunde durch einen Lock-in-Prozess an den Hersteller gebunden ist. Dieses Lock-in kann aus verschiedenen Gründen bestehen, wie z. B. spezielle, produktbezogene Sicherheitszertifikate in der Luftfahrt oder behördliche Vorschriften im militärischen Bereich. Es ist für den Verarbeiter sehr attraktiv, auf diese Art und Weise zum Hoflieferanten zu werden.

Der Unternehmer ist gefordert, sich für einen oder mehrere Geschäftstypen zu entscheiden. Im selben Unternehmen können verschiedene Geschäftstypen zwar prinzipiell koexistieren, es gilt jedoch, an den richtigen Stellen, z.B. in der Vermarktung auf die Eigenheiten der gewählten Typen Rücksicht zu nehmen. Für das Produktgeschäft sind andere Vertriebsansätze und -kanäle zu wählen wie für das OEM-Geschäft[50].

Sämtliche vorgestellten Geschäftstypen sind im Faserverbund vertreten. Alle Geschäftstypen haben für den Unternehmer je nach Situation des eigenen Unternehmens bestimmte Vor- und Nachteile, die wir hier jedoch nicht im Einzelnen darstellen wollen. Nur so viel: Die Geschäftstypen mit Fokus Kaufverbund erscheinen vielfach als sehr attraktiv, weil dank anbieter- und nachfragerseitiger Investitionen eine lange Dauer der Geschäftsbeziehung sehr wahrscheinlich ist, m. a. W. es lockt eine Quasi-Rente. Es gilt jedoch zu bedenken, dass damit auch ein Klumpenrisiko entsteht, weil die Geschäftspartner eng verzahnt sind.

Für welchen Geschäftstyp sollte sich der Unternehmer entscheiden? Die Wahlfreiheit besteht nur auf dem Papier: Der Unternehmer kann sich zwar einen oder mehrere Geschäftstypen aussuchen, die seinen Wünschen, Kompetenzen und Neigungen prinzipiell am Besten entsprechen. Der Markt diktiert jedoch die momentan nachgefragten Geschäftsmöglichkeiten.

Grössere Handlungsfreiheit für den Unternehmer besteht hingegen in der Wahl des Geschäftsmodells, wie wir im nächsten Unterkapitel darlegen werden.

6.6.3 Hinweise zu den Geschäftsmodellen

Ein Geschäftsmodell ist die Darstellung der Art und Weise, wie ein Unternehmen am Markt Werte schafft. In der folgenden Tabelle sind wichtige Dimensionen aufgeführt und inhaltlich für das Beispiel des Faserverbundgeschäfts erläutert[51].

50. Vgl. Belz, Ch. / Reinhold, M. (Hrsg.) (1999): Internationales Vertriebsmanagement für Industriegüter, St.Gallen: Thexis, S. 67 ff.

Zentrale Fragen zum Geschäftsmodell – wichtige Dimensionen	*Bezüge und Hinweise zum Faserverbundgeschäft*
Für welchen Kunden welchen Nutzen?	Markt- und Kundensegmentierung sowie Anliegen und Bedürfnisse der Anspruchsgruppen. Geschäftstypenansatz gemäss Marktsituation: Produkt-, Projekt- oder OEM-Geschäft[a]. Beschreiben des Nutzenversprechens. Wahl der Nutzenkategorien: Kostenführerschaft, Produktführerschaft / Leistungsführerschaft sowie Kundenpartnerschaft. Analyse der Wertschöpfungskette und Positionierung. Produktmarketing vs. Technologiemarketing.
Wie wird die Leistung am Markt kommunikativ verankert?	Zielgruppengerichtete und zielgruppengerechte Marktkommunikation mit dem Ziel, von einer einmaligen Transaktion wegzukommen. Aufmerksamkeit und kritisches Involvment bei potenziellen Kunden. Integration der Communities (Gruppen von Kunden mit ähnlicher Wertehaltung). Markenbildung.
Wie werden Einnahmen erzielt?	Management der Einkünfte: Betreibermodelle vs. Einmaleinkünfte.
Welches Wachstumskonzept wird verfolgt?	Nischenanbieter mit Einmalprojekten. Multiplikation der Einmalprojekte. Aufkauf von neuen Gesellschaften. Kooperationen mit Partnern, strategische Allianzen.
Welche Kernkompetenzen sind wichtig?	Technologiemanagement, Netzwerkmanagement mit Kooperationspartnern, Marketingkompetenz.

Tabelle 6-3: Wichtige Dimensionen von Geschäftsmodellen

51. Vgl. Bieger, Th. / Rüegg-Stürm, J. / von Rohr, Th. (2002): Strukturen und Ansätze einer Gestaltung von Beziehungskonfigurationen – Das Konzept Geschäftsmodell, in: Bieger, Th. / Bickhoff, N. / Caspers, R. / zu Knyphausen-Aufsess, D. / Reding, K. (Hrsg.): Zukünftige Geschäftsmodelle, Berlin u.a.O.: Springer, S. 35 ff.

Zentrale Fragen zum Geschäftsmodell – wichtige Dimensionen	*Bezüge und Hinweise zum Faserverbundgeschäft*
Welches ist die Reichweite der eigenen Unternehmung	Klären, welcher Teil der Gesamtwertschöpfung durch das eigene Unternehmen erbracht werden soll, und welche Teilleistungen anderen Leistungserbringern überlassen werden sollen.
Mit welchen Kooperationspartnern wird zusammengearbeitet?	Wahl der Kooperationsfelder, der Kooperationspartner und Gestaltung der Zusammenarbeit. Ausnutzen angebotsseitiger Netzeffekte zur verbesserten Arbeitsteilung: Zusammenarbeit mit Designern, Ingenieurbüros für die FEM-Berechnung, Zusammenarbeit mit spezialisierten Institutionen, wie Hochschulen und Universitäten. Ausnutzen nachfragerseitiger Netzeffekte durch aktive Mitarbeit und Gestaltung der Faserverbund-Community.
Welches Koordinationsmodell wird angewendet?	Steuerung der Informationsflüsse unter den Kooperationspartnern.

Tabelle 6-3: Wichtige Dimensionen von Geschäftsmodellen

a. Hinweis: Der Aufbau eines Systemgeschäfts dauert Jahre und steht hier nicht zur Diskussion.

Geschäftsmodell und Marketingkonzept sind Teile des Businessplans, den es für neue Geschäftsfelder aufzustellen gilt.

Um dem Auf- und Umsteiger in das Faserverbundgeschäft ein Gefühl für die praktischen Herausforderungen zu geben, die ihn erwarten, stellen wir im nächsten Abschnitt die typischen Projektphasen vor, die zur Produktion von Faserverbundbauteilen gehören.

6.6.4 Übersicht über die Projektphasen bei FV-Bauteilen

Ein typisches FV-Projekt durchläuft verschiedene Phasen mit unterschiedlichen Zielsetzungen und Erfolgsfaktoren. Diese sind in der Tabelle 6-4, „Phasenmodell und Erfolgsfaktoren für FV-Bauteile“, auf Seite 76 aufgeführt. Es wird nur auf diejenigen Dinge speziell hingewiesen, die spezifisch für die Faserverbundtechnologie sind.

Die Anzahl und Art der Hinweise in der Tabelle zeigt deutlich, dass der Ein- oder Umstieg ins FV-Geschäft wohl überlegt und geplant sein muss. Schnelle Erfolge

Phase	*Inhalte und Erfolgsfaktoren*
1. Vorphase	Aufstellen des technisch-kommerziellen Pflichtenhefts für das Bauteil. Abklären der Machbarkeit mittels einer Machbarkeitsstudie (vom Kunden bezahlt mit eventueller Gutschrift bei Bestellung). Grobe Schätzung der Kostenstruktur für Serienteile. Schriftliche Regelung der Rechte am geistigen Eigentum. Kritisch sind die Kommunikation und Verifikation des Nutzenversprechens der Technologie: Leichtbau, 3D-Gestaltung und Funktionale- und Bauweisenintegration. Darstellen des Mehrwerts des Bauteils, z. B. in Form technischer Leistungsmerkmale und Differenzierungsmöglichkeiten gegenüber der Konkurrenz. Abschätzen des Aufwandes für das Design-In des neuen Bauteils beim Kunden. Abschätzen der Kosten und der Profitabilität der Gesamtlösung in Faserverbund. Klären des Schutzes des eingebrachten und noch zu entwickelnden Know-how beider Parteien (Vertrag). Output: Richtofferte mit Projektplan und Meilensteinen.
2. Prototypphase	Design und Berechnung des Bauteils, eventuell durch externe Anbieter oder in Zusammenarbeit mit Hochschulen. Wichtig ist die sorgfältige Klärung der Krafteinwirkung an den Schnittstellen zu den Inserts/Onserts, weil dies eine typische Schwachstelle darstellt. Kritisch sind die Beherrschung der Variantenvielfalt beim Design und der Berechnung sowie die Optimierung der Gesamtkonstruktion. Fertigen eines kostengünstigen Werkzeugs (Tooling) sowie eines Prototypen.Bei komplexen Geometrien ist die Herstellung eines kostengünstigen Werkzeugs oft nicht möglich und es muss ein viel teureres Serienwerkzeug beschafft werden. Testen des Prototyps. Im Vorfeld ist das Mengengerüst für die geplante Produktion möglichst präzis zu klären. Dieser Entscheid beinflusst die Wahl der wirtschaftlichsten Herstellverfahrens. Output: Lay-up Plan (Anzahl Faserlagen, Faserorientierung), Geometriedaten für das Toolingkonzept, Kostenschätzung von Tooling, Material und sonstigen Fertigungsmitteln, Operationspläne für die Produktion.

Tabelle 6-4: Phasenmodell und Erfolgsfaktoren für FV-Bauteile

Phase	*Inhalte und Erfolgsfaktoren*
3. Phase Serienfertigung und Beenden der Produktion	Beschaffen der Werkzeuge (Tooling) und Hilfswerkzeuge, wie Auflegepositive für die Gelege und Stanzmesser. Kritisch ist die Reproduzierbarkeit des Fertigungsverfahrens, weil Handarbeit (z.B. Klebeprozess) durch qualifiziertes Personal erledigt werden muss. Ausschussraten unter 1% sind bei entsprechender Sorgfalt erzielbar. FV-Bauteile sind in der Regel hoch optimiert und ertragen, abgesehen von den gewünschten Leistungen, eher wenig Belastungen. Sind Schäden an Bauteilen klein, so können Carbonteile auch gut repariert werden. Anderenfalls muss das ganze Teil getauscht werden. Je nach der Komplexität des Herstellprozesses und der dafür benötigten Anlagen kann es für den Kunden sinnvoll sein, einen Lebensdauerbedarf an Ersatzteilen zu beschaffen.

Tabelle 6-4: Phasenmodell und Erfolgsfaktoren für FV-Bauteile

innert weniger Monate sind kaum zu erzielen, dazu sind die Eintrittsbarrieren zu hoch. Hingegen winkt die Chance, langfristig an einem attraktiven Markt teilzuhaben.

Zusammenfassend halten wir fest: Der Markt für Bauteile aus Faserverbund ist ein attraktiver, aber stark fragmentierter Markt, in dem sich bereits heute viele Klein- und Mittelunternehmen als Anbieter etabliert haben. Flexibles Eingehen auf Kundenwünsche und eine gutes Beherrschen der anspruchsvollen Prozesse im Prototypenbau und der Produktion sichern diesen Firmen eine attraktive Nische aus der sie dank hoher Spezialisierung auf längere Zeit hinaus kaum verdrängt werden können.

Die hohe Attraktivität des Faserverbundmarktes rührt daher, dass Bauteile mit hohem individuellem Nutzen für den Kunden entwickelt, hergestellt und vertrieben werden können. Negativ schlägt jedoch zu Buch, dass sich die Faserverbundtechnologie noch immer nicht als kostengünstige Technik für die Massenfertigung darstellt. Hier besteht Entwicklungsbedarf und wir legen im letzten Kapitel dar, welche Erfolge im Rahmen des Projekts InnoFaser verzeichnet werden konnten.

7 Technischer Fortschritt und Ausblick

7.1 Fortschritte in der Technik der Faserverbunde

Eingangs wurde als Ziel des Projekts formuliert, auf ausgewählten Märkten einen Durchbruch in fertigungstechnischer und wirtschaftlicher Hinsicht zu erzielen. Ohne uns in technischen Details zu verlieren, fassen wir die im Laufe diese Projekts erzielten, wesentlichen Fortschritte folgendermassen zusammen.

Wie im Kapitel 2 dargelegt, wurde auf dem Referenzobjekt Roboterarm der Firma Nägeli Swiss AG eine Herstellkostensenkung von 30% angestrebt, um mit dem Werkstoff Aluminium konkurrenzfähig zu sein.

Es sind schliesslich viele Einzelschritte, die zum gewünschten Resultat führen. Im Einzelnen:

Die FV-Hohlkörperfabrikation benötigt Innendrucksäcke zum Abformen der Geometrie. Es ist gelungen, **elastische Polyurethan-Drucksäcke** im sog. Rotomouldingverfahren herzustellen. Die Materialkosten (Polyurethan) sind dabei äußerst gering. Die Drucksäcke lassen sich ähnlich wie die bestehenden Drucksäcke mehrfach abformen, sind aber nach einer Investition in ein Rotomouldingwerkzeug sehr schnell und einfach herzustellen. Ein Vorteil ist außerdem die genaue Form des Drucksackes, der sich ideal dem Innenlaminat anpasst.

Das **Verschweißen von Folien zu Foliendrucksäcken** wurde während dieses Projektes entwickelt. Es wird bereits im High-Tech Schiffsbau angewendet und ersetzt das mühsame Verkleben der Folie. Aus einem 2D Schnittmuster lassen sich komplexe 3D Drucksäcke herstellen, deren Materialkosten sehr gering sind. Das Verfahren ist ausserdem automatisierbar und es lassen sich identische Drucksäcke in großer Zahl herstellen. Das Verfahren eignet sich auch für kleine Serien oder gar den Prototypenbau, weil die Investitionen sehr gering sind und die Geometrie des Drucksacks beliebig variiert werden kann.

Verpresste **Mitteldichte Holzfaserplatten** (MDF) waren bislang **für die Formgebung von CFK-Hohlkörpern** nicht denkbar. Holz nimmt sehr viel Wasser auf, was zu starken Verformungen eines Werkzeugs führt. Es gilt, beispielsweise die Werkzeugoberflächen zu vergüten. Die gezielte Imprägnierung der Oberflächen verhindert weitgehend das Aufquellen der Form, schließt mögliche Luftwege und erhöht die Beständigkeit gegen mechanische Beschädigungen. MDF ist ein äusserst kostengünstiger Werkstoff und wird neu vor allem bei kleinen Serien mit weiten mechanischen Toleranzen oder im Prototypenbau eingesetzt.

Im Flugzeugbau sind in den letzten Jahren neue CFK-Halbzeuge in die Produktion eingeflossen, die mit **Filminfusion** arbeiten. Ein Ziel dieses Projekts war es, diese Halbzeuge in die Produktion von KMU's einzuführen. So ist es zum ersten Mal

gelungen ein Werkzeug innerhalb eines Tages herzustellen. Dabei war kein Zwischenvakuum nötig und die Formoberflächen bedurften keiner Nacharbeit. Neu an diesem Werkzeug ist außerdem die Art der Verschlussmechanik: Sie wurde nicht während des Laminierens sondern erst danach sehr einfach eingeklebt. Die neue Geometrie der Inserts erlaubt ein einfaches Austauschen und verfügt außerdem über einen besseren Rückhalt gegenüber dem Werkzeug.

Eine neue Generation Roboterarme, die mit Filminfusion hergestellt werden, ist beim Anwender in der Erprobung. Folgende Verbesserungen gegenüber dem herkömmlichen Verfahren sind sichtbar:

- Reduktion des Arbeitsaufwands zum Schneiden der Lagen, im Verhältnis zur Anzahl Lagen: 50%
- Reduktion beim Aufbau des Laminats, im Verhältnis zur Anzahl Lagen: 50 bis 60%
- Durch direktes Einlegen der Lagen entfällt das mühsame Einlegen von Paketen: 100%
- Die Nacharbeit wird durch bessere Oberflächen mit weniger Fehlstellen deutlich verringert: 50%.

Werden die neuen Werkzeuge, die neuen Halbzeuge und die neuen Drucksäcke verwendet, so wird sich eine Kostenreduktion von bis zu 28% realisieren lassen.

Während der Projektlaufzeit von **InnoFaser** wurde zu Testzwecken ein anderes Bauteil für eine Anwendung in der Raumfahrt unter Berücksichtigung der oben erwähnten Verfahrensverbesserungen realisiert. Die Resultate sind eindrücklich: Innert drei Monaten wurde das Bauteil konstruiert und berechnet, es wurden Fertigungsunterlagen erstellt, ein Werkzeug hergestellt und drei einsatzfähige Prototypen laminiert. Ein Beweis, dass die Entwicklung von CFK-Bauteilen mit geeignetem Mitteleinsatz nicht zwingend kostspielig sein muss.

7.2 Ausblick

Die Technik der Faserverbundwerkstoffe braucht sich um ihre Akzeptanz bei den Anwendern und in der Bevölkerung nicht zu kümmern, denn sie ist seit Jahrzehnten etabliert. Ihr industrieller Nutzen und ihre Potenziale in der Produkttechnologie sind bewiesen. Interessante Produkte und attraktive Märkte gibt es zur Genüge. Dies hat die vorliegende Arbeit gezeigt.

Allein der Durchbruch in echte Massenmärkte ist bisher kaum gelungen. Dafür gibt es mehrere Gründe:

Viele Ingenieure können wahrscheinlich die Kosten-Nutzenrelation des Einsatzes moderner anisotroper Werkstoffe nicht oder noch nicht richtig einschätzen. Man

geht lieber den sicheren, bekannten Weg. Es sei denn man sei absolut dazu gezwungen diesen zu verlassen. Es gilt, diese Vorurteile durch Kommunikation und Schulung aus der Welt zu schaffen.

Der Produktionstechnologie für Faserverbundteile haftet immer noch das Stigma einer Manufaktur alten Stils an. Das wird sich nur ändern, wenn das Volumen der zu fertigenden Bauteile massiv ansteigt. Erst dann werden sich Technische Hochschulen und die Industrie zusammenfinden, um gemeinsam neue Lösungen in der Produktionstechnologie zu suchen und zu finden. Genau so, wie es in diesem Projekt geschehen ist.

Die kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffe werden aus dem Rohstoff Erdöl quasi direkt synthetisiert. Im Vergleich zu Metallen, beispielsweise Primäraluminium, fällt die Energiebilanz zur Werkstoffherstellung wesentlich günstiger aus. Zählt man die Energieeinsparung durch das hohe Leichtbaupotential der Faserverbundkunststoffe während der Lebensdauer eines maschinenbaulichen Produktes dazu, so zeigt sich das Zukunftspotential dieser Werkstoffklasse ganz deutlich. Die hohen Werkstoffkosten der Faserverbunde und die Recyclingkosten nach Ablauf der Lebensdauer eines Produktes werden mehr als kompensiert.

Fazit: Die Faserverbundwerkstoffe haben die grosse Zukunft noch vor sich.