INDUSTRIEVEREINIGUNG
VERSTÄRKTE KUNSTSTOFFE
FEDERATION OF REINFORCED PLASTICS

CARBON COMPOSITES

Composites-Marktbericht 2018

Marktentwicklungen, Trends, Ausblicke und Herausforderungen

Der **GFK**-Markt Europa – Dr. Elmar Witten, Volker Mathes (AVK)
Der globale **CF- und CC**-Markt – Michael Sauer, Michael Kühnel (CCeV)

November 2018

INDUSTRIEVEREINIGUNG VERSTÄRKTE KUNSTSTOFFE
FEDERATION OF REINFORCED PLASTICS

Inhaltsverzeichnis

1 Der GFK-Markt Europa 2018 5

2 Der betrachtete Markt 6

3 Die Produktion von GFK 2018: Gesamtentwicklung 6

4 GFK-Produktion in Europa 8

5 Tendenzielle Entwicklungen von Verfahren/Teilen 10

5.1 SMC/BMC 11

5.2 Offene Verfahren 14

5.3 RTM 15

5.4 Kontinuierliche Verfahren 16

5.5 Rohre und Tanks 17

5.6 GMT/LFT 18

6 Die Anwendungsindustrien im Überblick 20

7 Die GFK-Produktion 2018: Länder-Betrachtung 21

8 Weitere Composites-Materialien 24

8.1 Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe 24

8.2 Kurzglasfaserverstärkte Thermoplaste 24

8.3 Naturfaserverstärkte Kunststoffe 25

9 Ausblick 25

10 Allgemeines 28

11 Begriffsklärung 30

12 Der globale Carbonfaser-Markt 31

12.1 Entwicklung des globalen CF-Bedarfes und CF-Gesamtumsatz 31

12.2 Die globale CF-Kapazität nach Hersteller 32

12.3 CF-Bedarf und CF-Kapazität nach Region 36

13 Der globale Carbon-Composites-Markt 40
13.1 Aufteilung nach Matrix, weltweiter CC-Bedarf und CC-Gesamtumsatz ... 40
13.2 Entwicklung des globalen CFK-Marktes und CFK-Gesamtumsatz 42
13.3 CC-Bedarf und CC-Umsatz nach Regionen 45
13.4 CC-Bedarf und CC-Umsatz nach Anwendungen 47

14 Trends und Ausblick 53
14.1 Horizontale und vertikale Marktintegration 53
14.2 Umstrukturierung als Einstiegschance 56

15 Weitere Marktentwicklung & Schlussbetrachtung 58

16 Literaturverzeichnis 61

INDUSTRIEVEREINIGUNG
VERSTÄRKTE KUNSTSTOFFE
FEDERATION OF REINFORCED PLASTICS

Der GFK-Markt Europa 2018

Die Autoren

Dr. Elmar Witten ist Geschäftsführer der AVK – Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e.V. Volker Mathes ist bei der AVK u. a. verantwortlich für das Thema Marktinformationen.

Die AVK ist der deutsche Fachverband für Faserverbundkunststoffe/Composites und vertritt die Interessen der Erzeuger und Verarbeiter auf nationaler und europäischer Ebene.

Das Dienstleistungsspektrum umfasst u. a. Facharbeitskreise, Seminare und Tagungen sowie die Bereitstellung von marktrelevanten Informationen (www.avk-tv.de).

National ist die AVK einer der vier Trägerverbände des GKV – Gesamtverband Kunststoffverarbeitende Industrie - und international Mitglied im europäischen Composites Dachverband
EuCIA - European Composites Industry Association.

Die AVK ist Gründungsmitglied von Composites Germany.

1 Der GFK-Markt Europa 2018

Kontinuierliches Wachstum setzt sich fort

Auch im sechsten Jahr in Folge hält das Wachstum des europäischen Marktes für Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) in den hier betrachteten Ländern an. Gegenüber dem Vorjahr wächst der Markt erneut um etwa 2 % auf ein Volumen von insgesamt 1,141 Millionen Tonnen.

Trotz zahlreicher Weiterentwicklungen und eines starken Wachstums anderer Segmente im Markt für Faserverstärkte Kunststoffe bzw. Composites, sind GFK – mit einem Mengenanteil von über 95 % – das nach wie vor klar dominierende Material im Composites-Markt.

Die generell positive Entwicklung des europäischen GFK-Marktes unterscheidet sich – wie auch in den Vorjahren – sehr stark sowohl regional als auch im Hinblick auf Anwendungen und/oder spezifische Verarbeitungsprozesse.

Während beispielsweise die sogenannten Offenen Verfahren (Handlaminieren & Faserspritzen) um nur 0,4 % wachsen, nimmt der Markt für thermoplastische Systeme um fast 5 % zu. Regional sind es in diesem Jahr vor allem die südeuropäischen Länder (z. B. Spanien), die ein überdurchschnittliches Wachstum zeigen, während die Verarbeitungsmenge in den meisten nordeuropäischen Herstellungsländern stagniert.

Besonders hervorzuheben ist, dass es in diesem Jahr kein europäisches Land bzw. keine Ländergruppe gibt, die einen Rückgang der Herstellungsmenge aufweist. Dies gilt auch für die Verarbeitungsprozesse. Kein Segment weist derzeit einen Rückgang der Herstellungsmenge auf.

2 Der betrachtete Markt

Um eine kontinuierliche Vergleichbarkeit mit den Vorjahren zu gewährleisten, beinhalten die betrachteten GFK-Materialien erneut alle Glasfaserverstärkten Kunststoffe mit einer duroplastischen Matrix und im Thermoplast-Markt die Glasmattenverstärkten Thermoplaste (GMT), die Langfaserverstärkten Thermoplaste (LFT) sowie die darin enthaltenen Mengen Endlosfaserverstärkter Thermoplaste. Die europäische Herstellungsmenge für Kurzglasfaserverstärkte Thermoplaste liegt nur als Gesamtmenge vor und wird separat ausgewiesen.

Auf Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) wird im zweiten Teil des Marktberichtes separat eingegangen.

Regional beinhaltet die Betrachtung des GFK-Marktes alle relevanten Länder in Europa, deren Herstellungsmengen sich valide erfassen lassen. Die Menge in der Türkei wird ergänzend mitbetrachtet, mangels langjähriger Vergleichbarkeit aber weiterhin separat ausgewiesen.

3 Die Produktion von GFK 2018: Gesamtentwicklung

Nach dem Einbruch der europäischen GFK-Produktionsmenge in den Jahren der Wirtschafts- und Finanzkrise – zwischen 2007 und 2009 – verzeichnet dieser Zweig der Kunststoff-Industrie jetzt im sechsten Jahr in Folge ein Wachstum. Der europäische Gesamt-GFK-Markt wächst in 2018 um 2,1 % auf geschätzte 1,141 Millionen Tonnen (s. Abb. 2 in Kapitel 4).

Trotz dieser grundlegend positiven Entwicklung bleibt diese Gesamtzahl in ihrer Aussagekraft begrenzt. Die sehr starke Heterogenität des Marktes führt innerhalb Europas zu stark unterschiedlichen Entwicklungen. Die hohe Variabilität der Materialien, ein breites Spektrum unterschiedlichster Verarbeitungsverfahren sowie die kontinuierliche Erschließung neuer Anwendungsfelder führen im Detail zu unterschiedlichen Wachstumsraten sowohl regional als auch anwendungsseitig.

Die beiden Hauptanwendungsgebiete für GFK bleiben der Transport- und der Bau-/Infrastrukturbereich. Schwankungen innerhalb dieser beiden – auch volkswirtschaftlich bedeutenden Industriesegmente – führen auch im GFK-Bereich zu Schwankungen, die sich teils nach regionalen industriellen Schwerpunkten nochmals deutlich unterschiedlich auswirken können.

Die hohe, auch gesamtwirtschaftliche Bedeutung der beiden oben genannten Haupteinsatzgebiete von GFK (Transport & Bau/Infrastruktur) ist ein Grund dafür, dass die Herstellungsmenge von GFK in der langfristigen Betrachtung tendenziell der Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes und der gesamten Industrieproduktion folgt (vgl. Abb. 1). Eine bereits starke Etablierung von Composites in den genannten Segmenten und ein hohes Verarbeitungsvolumen lässt auch für die kommenden Jahre keine sprunghaften Veränderungen der Gesamt-Produktionsmenge erwarten. Einzelprojekte oder einzelne neue Anwendungen haben meist nur geringen Einfluss auf die Gesamt-Verarbeitungsmenge oder werden von Entwicklungen in anderen Anwendungsbereichen überlagert.

Trotz neuer Aktivitäten einzelner, auch größerer Marktakteure, ist der Markt weiterhin gekennzeichnet durch eine Vielzahl vor allem kleiner und auch Kleinstunternehmen, wobei in etlichen europäischen Ländern 10 bis 20 % der Firmen 80 bis 90 % der Herstellungsmenge produzieren.

Abbildung 1: Zusammenhang GFK-Produktion und Gesamtwirtschaft (Quelle: OECD, The World Bank und eigene Erhebung)

4 GFK-Produktion in Europa

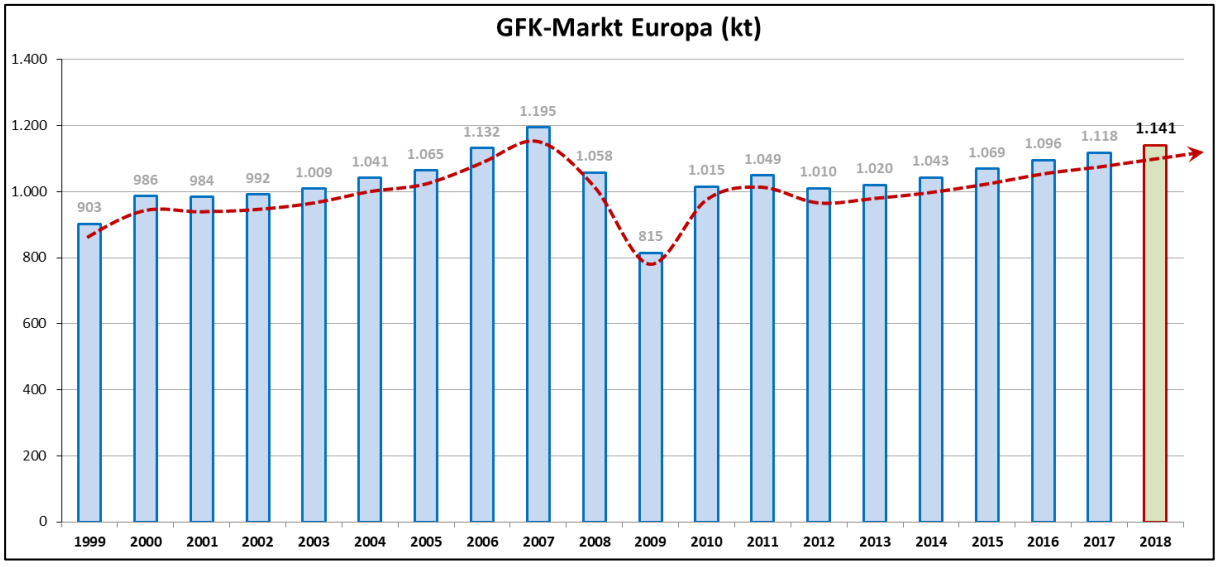

Abbildung 2: GFK-Produktionsmenge in Europa seit 1999 (kt = Kilotonnen, 2018 = geschätzt)

Die gesamte europäische GFK-Produktionsmenge wächst 2018 um voraussichtlich 2,1 % auf ein Gesamtvolumen von 1,141 Millionen Tonnen. Das bereits in den Vorjahren moderate Wachstum setzt sich somit im sechsten Jahr in Folge fort. Wie bereits beschrieben, ist diese Entwicklung in den hier betrachteten Ländern/Regionen

sowie in den erfassten Anwendungs- bzw. Fertigungsbereichen jedoch teils sehr unterschiedlich. Eine detaillierte Betrachtung folgt ab Kapitel 5.

Auch wenn die GFK-Menge in Europa weiterhin auf Wachstumskurs bleibt, so wird diese aber voraussichtlich hinter der weltweiten Mengenentwicklung zurückbleiben. Andere Märkte, wie beispielsweise Asien und/oder Amerika sind in den letzten Jahren mit deutlich über 2 % gewachsen. Somit geht der Anteil Europas an der Weltproduktion trotz der aufgezeigten positiven Entwicklung weiter zurück. Als Gründe für das langsamere Wachstum sind zum einen das Abwandern bestimmter Herstellungsverfahren und -methoden zu nennen, zum anderen eine Verlagerung der Produktion von Commodities bzw. Verbrauchsgütern mit oftmals geringen Gewinnmargen. Daneben entwickeln sich bestimmte Anwendungs- bzw. Abnehmerindustrien in anderen Weltregionen dynamischer als in Europa. Insgesamt ist die GFK-Industrie durch eine sehr starke Internationalisierung entlang der gesamten Wertschöpfungskette gekennzeichnet. Günstigere Arbeits- und Lohnkosten oder sich ändernde gesetzliche Rahmenbedingungen können zur Abwanderung einzelner Produktionsschritte in andere Weltregionen führen.

5 Tendenzielle Entwicklungen von Verfahren/Teilen

	2015 kt	2016 kt	2017 kt	2018 kt
SMC	191	198	202	204
BMC	74	76	78	81
∑ SMC/BMC	**265**	**274**	**280**	**285**
Hand lay-up	139	140	140	140
Spray-up	96	97	98	99
∑ Open mould	**235**	**237**	**238**	**239**
RTM	**137**	**141**	**146**	**148**
Sheets	86	89	93	96
Pultrusion	49	50	53	55
∑ Continuous processing	**135**	**139**	**146**	**151**
Filament winding	80	80	78	79
Centrifugal casting	68	68	67	69
∑ Pipes and Tanks	**148**	**148**	**145**	**148**
GMT/LFT	**132**	**140**	**145**	**152**
Others	**17**	**17**	**18**	**18**
Sum:	**1.069**	**1.096**	**1.118**	**1.141**

Tabelle 1: GFK-Produktionsmengen in Europa nach Verfahren/Teilen – aktuelles Jahr und die drei Vorjahre (kt = Kilotonnen, 2018 = geschätzt)

Tabelle 1 stellt die mengenmäßige Entwicklung der wesentlichen Prozesse/Teile zur GFK-Herstellung in den vergangenen Jahren dar. Die Benennung einzelner Segmente ist nicht immer ganz stringent oder trennscharf, wird aber weiter fortgeführt, um eine optimale Vergleichbarkeit der Werte zu ermöglichen. Über die genannten Verfahren hinaus gibt es zahlreiche weitere Produktionsverfahren/-technologien, die sich im Wesentlichen aber einem der genannten Bereiche zuordnen lassen.

SMC/BMC macht mengenmäßig das größte Segment aus. Es folgen die – oftmals stark handwerklich geprägten – sogenannten Offenen Verfahren. Mengenmäßig liegen die anderen hier genannten Verfahren nahezu auf einem gleichen Niveau. Diese absoluten Zahlen verstellen ein wenig den Blick auf die langfristige Entwicklung, wie sie in Abbildung 3 erfasst ist.

Hier zeigt sich, dass in den letzten 20 Jahren vor allem die Offenen Verfahren stark an Marktanteil eingebüßt haben, u. a. auch mit dem absolut stärksten Rückgang der

Menge in den Jahren der Wirtschafts- und Finanzkrise 2007-2009. Der konstante Marktanteil von SMC/BMC als mittlerweile größtem Segment im Bereich der GFK-Verarbeitung verdeutlicht ein Wachstum etwa im Bereich der Gesamtmarktentwicklung, was einer Zunahme von +/- 2 %/Jahr entspricht. Klar ersichtlich sind auch die Zunahmen im Bereich der RTM-Technologie (Resin Transfer Moulding), vor allem aber auch der thermoplastischen Verfahren. In diesem Segment zeigen sich seit einigen Jahren weit überdurchschnittliche Wachstumsraten.

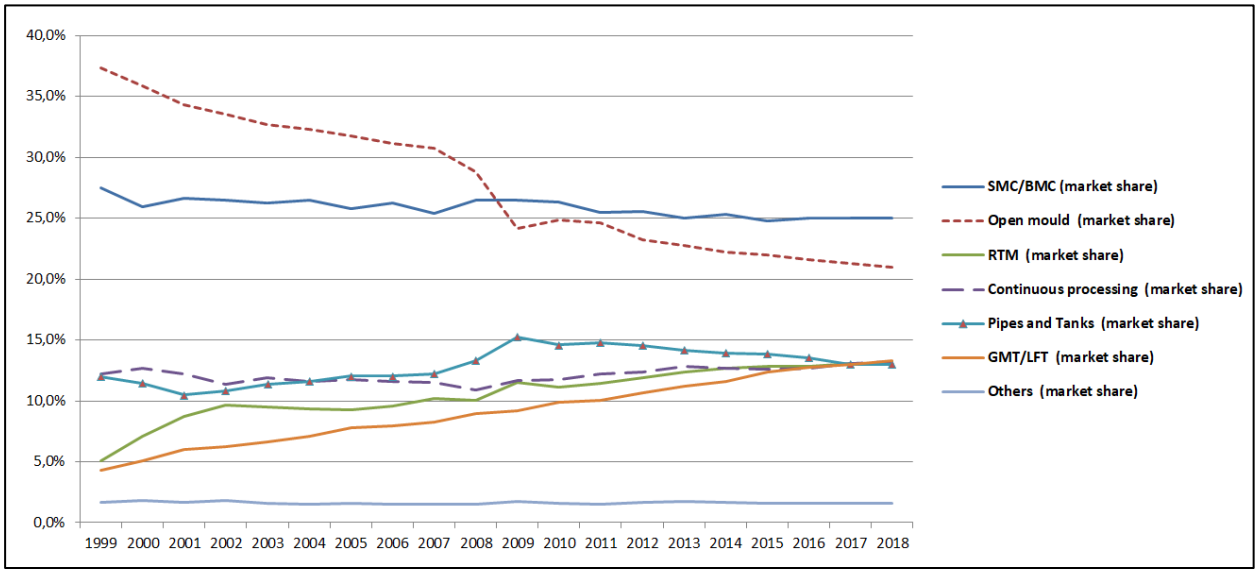

Abbildung 3: Langfristige Entwicklung GFK-Marktsegmente (Anteil am Gesamtmarkt, 2018 = geschätzt)

Im Folgenden findet sich eine Einzelbewertung der hier erfassten Segmente:

5.1 SMC/BMC

Die Herstellung von SMC-(Sheet Moulding Compound) und BMC-(Bulk Moulding Compound)-Bauteilen ist mit rund einem Viertel der Verarbeitungsmenge das größte Marktsegment in der GFK-Industrie. Die mit Pressverfahren bzw. Spritzgießverfahren verarbeitbaren Halbzeuge werden zu Bauteilen vor allem für die Elektro- und Elekt-

ronikindustrie und den Transport- bzw. insbesondere den Automobilsektor verarbeitet.

Das Wachstum von SMC/BMC ist in diesem Jahr mit 1,8 % erneut schwächer als im Vorjahr. Die gesamte Herstellungsmenge beträgt in diesem Jahr 285 Kilotonnen. SMC ist von beiden Marktsegmenten das deutlich größere. Mit 204 Kilotonnen (kt) entfallen über zwei Drittel des Produktionsvolumens auf SMC. In diesem Jahr wächst der BMC-Bereich mit 3,8% jedoch deutlich stärker als der SMC-Bereich, dessen Wachstum bei nur etwa 1% liegt. Insgesamt liegt das BMC-Produktionsvolumen bei 81 Kilotonnen.

Einsatzgebiete von SMC/BMC sind vor allem im Bereich der (Groß-)Serienproduktion zu finden. Sowohl im Elektrik-/Elektronikbereich als auch im Transportbereich sind beide Materialien seit vielen Jahren erfolgreich etabliert. Typische Anwendungen sind beispielsweise Scheinwerfersysteme, Lampengehäuse, Schaltschränke, Gehäuse oder auch Exterieur-Bauteile im Nutzfahrzeug- und Automobilbereich.

In den letzten Monaten ist eine starke Zunahme des Interesses an entsprechenden Halbzeugen bzw. der Verarbeitungstechnologie spürbar sowohl innerhalb des Composites-Marktes, aber auch von Akteuren, die bislang nicht in diesem Bereich tätig sind. Dieses Interesse schlägt sich derzeit noch nicht in der tatsächlichen Verarbeitungsmenge nieder.

Zahlreiche innovative bzw. neuartige Produkte sowie Produktweiterentwicklungen haben es bislang noch nicht in Serienanwendungen geschafft bzw. befinden sich in entsprechenden Vorphasen. Hier sind vor allem sogenannte High-Performance-SMC (Kohlenstofffaserverstärkte SMC) zu nennen, aber auch endlosfaserverstärkte SMC oder naturfaserverstärkte SMC.

Diese Materialien zielen vor allem auf Anwendungen im Bereich hochbelasteter oder Strukturbauteile ab, was neue Einsatzgebiete für diese Technologie eröffnen könnte. Alle genannten Lösungen zeigen ein hohes Potenzial, sind aber bislang nur in einzelnen wenigen Leuchtturm-Anwendungen zu finden.

Vor allem im Automotive-/Transportsektor finden derzeit zahlreiche Umbrüche statt, die Einfluss auf den SMC/BMC-Markt haben. Neuartige Scheinwerfertechnologien

mittels LED-Technologie beispielsweise verändern die Anforderungen an das eingesetzte Scheinwerfermaterial. Hiervon ist in hohem Maße auch BMC betroffen, da dies der wichtigste Einsatzbereich ist.

Leichtbau war viele Jahre eines der zentralen Themen im Bereich Automotive, aber auch Luftfahrt. Vor allem im Automotive-Bereich ist diesbezüglich ein Paradigmenwechsel feststellbar. Leichtbau ist nicht mehr das dominierende Thema bei der Materialentscheidung, sondern fließt mittlerweile neben anderen zentralen Entscheidungskriterien, wie beispielsweise Möglichkeiten zur Integrierbarkeit/Anbindung an bestehende Systeme, Reduzierung der Fertigungskomplexität usw. in die Materialentscheidung ein. Leichtbaueigenschaften allein sind kein zentrales Einsatzkriterium mehr. Diese Entwicklung spricht auf lange Sicht für den Einsatz von SMC/BMC, da die Materialien neben guten mechanischen Eigenschaften bei relativ geringem Gewicht über zahlreiche weitere positive Charakteristika verfügen, die den Einsatz auf lange Sicht begünstigen sollten. Hierzu zählen beispielsweise sehr gute Eigenschaften in Bezug auf Korrosion oder andere mediale Beeinflussungen, hervorragende Brandeigenschaften, eine hohe Maßhaltigkeit, vor allem aber auch ein stabiles und oftmals günstiges Preisniveau, um nur einige zu nennen.

Derzeit befindet sich die Automobilindustrie stark im Umbruch, vor allem hinsichtlich der Elektromobilität, aber auch durch die gesteigerten Anforderungen an die Motorentechnologie. Daher werden viele Materialumstellungen und/oder Projekte derzeit nicht durchgeführt, werden angehalten oder zurückgefahren. Hinzu kommt eine größere Konkurrenz aus Asien und Amerika, die auch auf den europäischen Markt wirkt. Im Luftfahrtsegment zeichnen sich erste Projekte vor allem im Bereich Cargo und Interieur ab. Hier bleibt die weitere Entwicklung, vor allem im Bereich der High-Performance-Materialien abzuwarten.

Auch im nächsten Jahr ist bei weiterem moderaten Wachstum zunächst nicht mit einem sprunghaften Anstieg der Produktionsmenge zu rechnen, da eine starke Zunahme in einzelnen Segmenten aufgrund des hohen Produktionsniveaus von Entwicklungen in anderen Bereichen überlagert werden können. Vergessen werden darf dabei nicht, dass allein die SMC/BMC-Produktion in Europa um ein Vielfaches größer ist als die weltweite CFK-Produktion.

5.2 Offene Verfahren

Das Segment der sogenannten Offenen Verfahren – Handlaminieren und Faserspritzen – ist mit einer Herstellungsmenge von 239 Kilotonnen nach SMC/BMC weiterhin das zweitgrößte Segment im GFK-Markt Europa. Wie Abbildung 3 zeigt ist der Anteil am Gesamtmarkt aber um über 15 % in den letzten 20 Jahren gefallen. Auch die Tendenz weist eine weitere Abnahme dieser Technologien in Europa auf. In 2018 wachsen die Offenen Verfahren unterdurchschnittlich mit 0,4 % und bleiben erneut hinter der Gesamtmarktentwicklung zurück.

Trotz des zu erwartenden, weiteren Rückgangs werden die Offenen Verfahren auch in den kommenden Jahren einen wichtigen Beitrag zur GFK-Produktionsmenge liefern. Vor allem im Bereich der Sonderfertigung, der Einzelfertigung oder bei geringen Losgrößen sind die Verfahren aufgrund ihrer geringen Investitionskosten häufig die Verfahren der Wahl. Auch für die Fertigung von Großbauteilen oder Produkten mit hoher Komplexität eigenen sich das Faserspritzen und Handlaminieren als die ursprünglichsten Formen der GFK-Verarbeitung weiterhin sehr gut.

Eine zunehmende Verschärfung der gesetzlichen Grundlagen für die Verarbeitung – vor allem bei styrolhaltigen Materialien – macht jedoch die Produktion in Europa zunehmend schwieriger bzw. aufwändiger. Diesbezüglich drohen in den nächsten Jahren weitere Verschärfungen. Die offene (offenes Werkzeug/offene Form) und handwerkliche Verarbeitung führt neben den Emissionen darüber hinaus teilweise zu ungewünschten Qualitätsschwankungen in der Serien- oder seriennahen Produktion.

Beide Faktoren zusammen führen oft dazu, dass versucht wird, die Offenen Verfahren durch geschlossene Verfahren zu substituieren. Daneben ist eine Abwanderung zu – teils durchaus modernen und auch sehr gut ausgestatteten – Produktionsstätten in das nicht europäische Ausland feststellbar.

5.3 RTM

Das Segment RTM (Resin Transfer Moulding) subsumiert alle Verfahren, bei denen Harz in eine geschlossene Kavität infusioniert/injiziert wird. Hierzu zählen neben den verschiedenen Injektionsverfahren (HP-RTM, P-RTM, RTM-Light usw.) teilweise auch Infusionsverfahren. In den letzten Jahren haben sich sehr viele verschiedene Spielarten des RTM-Prozesses entwickelt. Gleich ist allen Verfahren, dass trockene Fasern/Faserhalbzeuge zum Einsatz kommen und das Harz entweder mit Hilfe von Druck und/oder Vakuum die trockenen Fasern in der geschlossenen Form um- bzw. durchströmt.

Das RTM-Segment wächst wie in den Vorjahren kontinuierlich, allerdings in diesem Jahr leicht unterdurchschnittlich mit 1,4 %. Im laufenden Jahr erreicht die Produktion voraussichtlich 148 Kilotonnen.

Das Produktionsspektrum dieser Technologie ist sehr breit. Neben wenigen Stückzahlen lassen sich auch größere Serien fertigen. Es ist sowohl die Produktion kleiner Bauteile als auch größerer Produkte möglich. Darüber hinaus lässt sich eine Vielzahl unterschiedlicher Faser- und Matrixsysteme einsetzen. Typischerweise kommen auch entsprechende Preforms zum Einsatz.

Entsprechend breit sind die Anwendungsgebiete, die vom Fahrzeugbau über die Windindustrie, den Boots- und Schiffbau bis zum Sport- und Freizeitbereich sowie der Luftfahrt reichen. Bis vor einigen Jahren galt die RTM-Technologie auch als mögliches Verfahren zur Produktion größerer Stückzahlen im Automobilsegment. Abgesehen von einzelnen Projekten im mittleren Fahrzeugsegment (beispielsweise BMW i-Serie) konnte sich die Technologie dort noch nicht durchsetzen.

Dennoch hat sich das Produktionsvolumen, nicht zuletzt aufgrund der Vielfältigkeit dieses Verfahrenstyps und der vielen sich bietenden Möglichkeiten erheblich erhöht. Vor 20 Jahren (1998) lag das Produktionsvolumen bei 46 Kilotonnen, heute sind es 148 Kilotonnen – eine Steigerung von mehr als 300 %.

5.4 Kontinuierliche Verfahren

Die Produktion von GFK-Bauteilen mit den sogenannten Kontinuierlichen Verfahren (Pultrusion und Herstellung planer Platten) ist in 2018 mit 3,4 % überdurchschnittlich gestiegen. Damit hat sich die positive Entwicklung der vergangenen Jahre fortgesetzt. Die gesamte Produktionsmenge liegt mittlerweile bei 151 Kilotonnen.

Das mit 96 Kilotonnen größere Marktsegment der Herstellung von planen Platten ist mit 3,2 % gewachsen. Produkte werden seit Jahren vor allem für Fahrzeuge hergestellt, z. B. für Seitenverkleidungen von Lkw, Aufbauten im Caravan-Bereich oder beim Ausbau von Nutzfahrzeugen. Hinzu kommen Anwendungen im Fassadenbereich. Auch in diesem Bereich werden seit einigen Jahren verstärkt Innovationen vorangetrieben, wie beispielsweise antiseptische OP-Auskleidungen, Wakeboards uvm. Dieses Marktsegment wird nach wie vor durch einzelne große Hersteller geprägt. Der zweite Bereich dieses Marktsegmentes, die Pultrusion, ist in 2018 mit 3,8 % noch etwas stärker gewachsen als die Produktion von Platten. Das Marktsegment erreicht in der europäischen GFK-Industrie mittlerweile eine Produktionsmenge von 55 Kilotonnen.

Bereits in 2017 zeigt sich in diesem Segment eine starke Zunahme des Interesses, die sich nun auch in steigenden Marktzahlen widerspiegelt und sich auch 2018 fortsetzt. Man darf gespannt sein, ob sich dies in einer nochmaligen Steigerung des Produktionsvolumens niederschlägt.

In den letzten Monaten hat es in der Pultrusion sowohl technologisch aber auch materialseitig zahlreiche Neu- und Weiterentwicklungen gegeben. Als bedeutender Zukunftsmarkt gilt in der Pultrusion vor allem der Bau- und Infrastruktursektor. Hier sind z. B. der Bereich ÖPNV, der Brückenbau, Fenster- und Treppen-/Leiterprofile, aber auch Armierungssysteme zu nennen. Speziell in diesem Bereich spielen neben dem Leichtbau spezifische Materialeigenschaften eine zentrale Rolle. Zu nennen sind z. B. die Korrosionsbeständigkeit, weitgehende Wartungsfreiheit, die Möglichkeit zur lastgerechten Konstruktion und die Nicht-Leitfähigkeit von Strom und Temperatur.

Derzeit fehlt es vielfach noch an entsprechenden allgemeinen Zulassungen und Normen/Standards. Dieser Mangel an „Sicherheit“ führt bei vielen Architekten und Materialentscheidern immer noch zu großer Zurückhaltung. Daneben sind vielen Entscheidern die positiven Eigenschaften von GFK gegenüber anderen Baumaterialien immer noch zu wenig bekannt.

5.5 Rohre und Tanks

Das Marktsegment der GFK-Rohre und Tanks, hergestellt mit Schleuder- oder Wickelverfahren, wächst in 2018 durchschnittlich um 2,1 %. Nach einer Stagnation im Jahr 2016 und einem Rückgang in 2017 ist dies ein positives Signal. Dennoch ist das Produktionsniveau – gemessen am Anteil der europäischen Gesamtmenge – in den letzten Jahren leicht rückläufig.

Die relativ wenigen großen Produzenten haben jeweils eine für die GFK-Industrie vergleichsweise große Materialmenge im betrieblichen Durchsatz.

Haupteinsatzgebiete für GFK-Rohre und Tanks sind der Anlagenbau, der öffentliche und private Rohrleitungsbau sowie die Öl-/Gas- und Chemie-Industrie als Anwender.

Insbesondere die chemische Industrie hat dem Vernehmen nach bereits im letzten Jahr mit zahlreichen Re-/Investitionsmaßnahmen begonnen. Ob und in welchem Umfang diese ausschlaggebend für die sehr positive Entwicklung gegenüber 2017 sind, kann nicht genau festgelegt werden. Dennoch scheint der Tank- und Anlagenbau zu einem wichtigen Treiber dieses Marktsegmentes in Europa zu werden.

Wie auch im Bereich der Pultrusion können entsprechende Normungen und Standardisierungen sowohl Triebfeder als auch Hemmschuh für die weitere Entwicklung sein. Ein Beispiel ist etwa die geänderte Trinkwasserzulassung, die die Einsetzbarkeit von GFK-Rohren erschwert hat. Daneben ist dieses Segment sehr stark auch von Materialsubstitutionen beispielsweise durch unverstärkte Kunststoffe oder auch andere Materialsysteme betroffen.

Im Anlagenbau zeigen sich zahlreiche Potenziale gegenüber anderen Konstruktionsmaterialien, vor allem hinsichtlich vorteilhafter Materialeigenschaften in mecha-

nisch- und/oder medial beanspruchten Einsatzbereichen mit langen Stand-/Laufzeiten. Neben entsprechenden Anforderungen, die sich aus Standards und Normen ergeben, ist es hier eher das fehlende Wissen über die Materialien/Materialeigenschaften bei den Betreibern und Planern, die dem Einsatz teilweise im Wege stehen.

Sowohl im Rohrbereich, aber vor allem auch im Tank- und Anlagenbau besteht immer noch ein hohes Wachstumspotenzial, das sich z. B. durch eine weitere Verbesserung der allgemeinen Wahrnehmung der Materialien ausschöpfen lässt.

5.6 GMT/LFT

In den Darstellungen des GFK-Marktes in diesem Marktbericht sind von den thermoplastischen Werkstoffen nur Glasmattenverstärkte Thermoplasten (GMT), Langfaserverstärkte Thermoplaste (LFT) und Endlosfaserverstärkte Thermoplaste enthalten. Diese weisen ähnliche Fragestellungen hinsichtlich der Materialeigenschaften, der Einsatzgebiete und teilweise auch der Verarbeitung auf wie lang- und endlosfaserverstärkte duroplastische Materialien, so dass eine gemeinsame Betrachtung weiterhin sinnvoll erscheint. Materialien mit einer Kurzglasfaserverstärkung (< 2 mm Faserlänge) unterscheiden sich hinsichtlich der Beeinflussung der Materialeigenschaften und der (lastgerechten) Auslegung von den hier betrachteten Materialien deutlich und werden deshalb dem hier betrachteten GFK-Markt nicht zugerechnet.

Der Markt für GMT und LFT wächst auch in 2018 überdurchschnittlich mit 4,8 %, nachdem das Wachstum in 2017 bereits bei 3,6 % lag. In der langfristigen Betrachtung hat sich dieses Marktsegment seit 1999 fast vervierfacht und erreicht in 2018 ein Volumen von 152 Kilotonnen. Der Marktanteil vom Gesamtmarkt ist dabei von 5 % auf über 13 % gestiegen (vgl. Abb. 4).

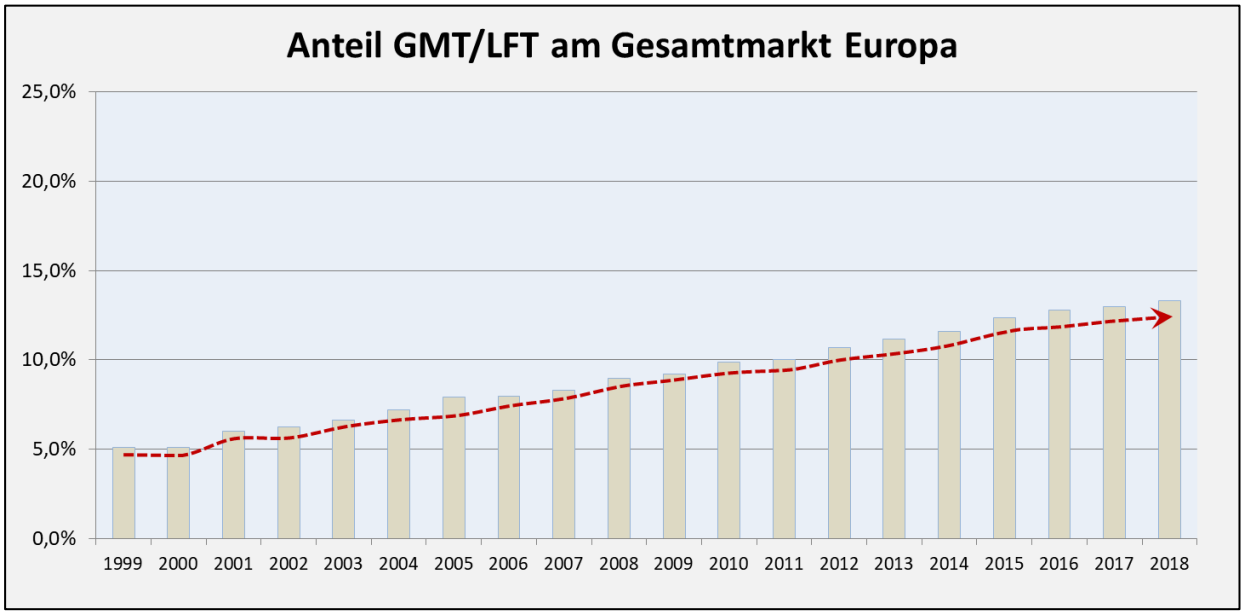

Abbildung 4: Entwicklung Marktanteil GMT/LFT am europäischen GFK-Produktionsvolumen

LFT sind dabei innerhalb der thermoplastischen Materialien die größte Gruppe. Seit einigen Jahren rücken aber auch Tapes und vorkonsolidierte, flächige Halbzeuge (sogenannte Organobleche) mehr und mehr in den Fokus der Betrachtung; letztgenannte Systeme vor allem im Hinblick auf eine entsprechende Hybridisierung der Verarbeitungsprozesse, z. B. in Kombination mit Spritzguss und Umformung.

Wachstumstreiber sind für thermoplastische Materialien insbesondere Projekte in der Automobilindustrie, teilweise aber auch in der Elektronikbranche. Besonders die speziellen Eigenschaften thermoplastischer Werkstoffe in punkto Verarbeitbarkeit/Zykluszeit, Rezyklierbarkeit und die Kombinationsfähigkeit mit anderen Werkstoffen lassen Thermoplaste häufig zum Material der Wahl werden. Press- und Spritzgussverfahren zur Herstellung bzw. Verarbeitung von Bauteilen sind in der Industrie bekannt und auch für andere Materialien im Einsatz. Grundsätzlich lassen sich auch Großserien mit 100.000er Stückzahlen und deutlich darüber hinaus realisieren. Typische Einsatzgebiete sind Produkte für den Unterbodenschutz, Stoßfänger, Instrumententräger oder Sitzstrukturen.

Für die Zukunft zeigt sich in diesem Segment enormes Wachstumspotenzial. Vor allem die Neu- und Weiterentwicklungen im Bereich LFT, aber auch bei den ange-

sprochenen Hybridlösungen offenbaren zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten vor allem im Transport, aber auch im Elektrik-/Elektronikbereich.

6 Die Anwendungsindustrien im Überblick

Trotz der aufgezeigten unterschiedlichen Entwicklungen in den Märkten der einzelnen Herstellungsverfahren bleibt der Anteil der großen GFK-Anwendungsindustrien in Europa gegenüber dem Vorjahr erneut konstant. Jeweils ein Drittel der gesamten Produktionsmenge wird für den Transportbereich und für den Baubereich (jeweils +1 % ggü. dem Vorjahr) hergestellt. Weitere Anwendungsbereiche sind die Elektro-/Elektronikindustrie sowie die Sport- und Freizeitindustrie (s. Abb. 5).

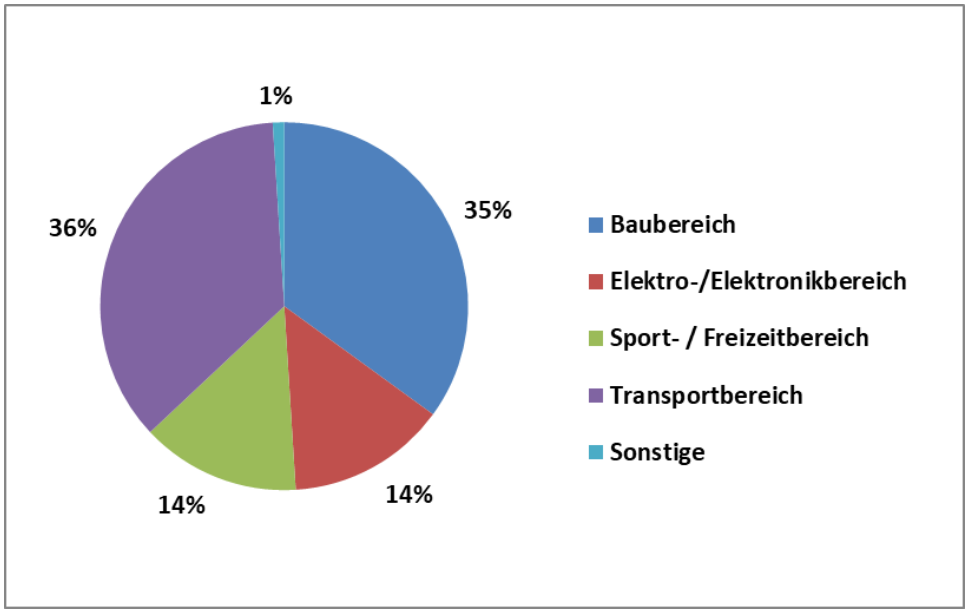

Abbildung 5: Aufteilung der GFK-Produktion in Europa auf Anwendungsindustrien (Jahr: 2018)

7 Die GFK-Produktion 2018: Länder-Betrachtung

Wie bereits in der Einleitung angesprochen, war die Marktentwicklung innerhalb Europas äußerst unterschiedlich. Während der Gesamtmarkt mit 2 % gegenüber dem Vorjahr auf ein Volumen von 1.141 Kilotonnen gewachsen ist, lag das Wachstum in den betrachteten Ländern zwischen 0 % und 3,7 %. Tabelle 2 zeigt die Entwicklungen der einzelnen Länder/Regionen im Detail.

	2015	2016	2017	2018
	kt	kt	kt	kt
UK / Ireland	150	152	153	155
Belgium / Netherlands / Luxembourg	44	45	46	46
Finland / Norway / Sweden / Denmark	39	40	40	40
Spain / Portugal	156	158	161	167
Italy	150	154	158	162
France	108	110	112	115
Germany	212	220	226	229
Austria / Switzerland	18	18	19	19
Eastern Europe*	192	199	203	208
Sum:	**1.069**	**1.096**	**1.118**	**1.141**
Turkey**	245	265	280	300

Tabelle 2: GFK-Produktionsmengen in Europa und in der Türkei nach Ländern/Ländergruppen (kt = Kilotonnen, 2018 = geschätzt / Osteuropa* = Polen, Tschechien, Ungarn, Rumänien, Serbien, Kroatien, Mazedonien, Lettland, Litauen, Slowakei und Slowenien / Türkei = Quelle TCMA).**

Positiv hervorzuheben ist, dass es in keiner Region zu einer rückläufigen Entwicklung gekommen ist. Daneben sind es in diesem Jahr vor allem die südeuropäischen Länder Spanien/Portugal sowie Frankreich und Italien, die überdurchschnittliche Wachstumsraten aufweisen.

Wurde dieser Impuls bereits für die letzten zwei Jahre erwartet, scheint sich diese Besserung des Marktumfeldes nun endlich einzustellen.

Das größte GFK- bzw. Composites-Land Europas ist weiterhin Deutschland mit einer Gesamtherstellungsmenge von 229 Kilotonnen. Das Wachstum bleibt in diesem Jahr aber hinter der Gesamt-Marktentwicklung zurück. Somit verliert Deutschland leichte Marktanteile gegenüber den anderen Ländern, kann aber noch seine Spitzenposition behaupten (vgl. Abbildung 6).

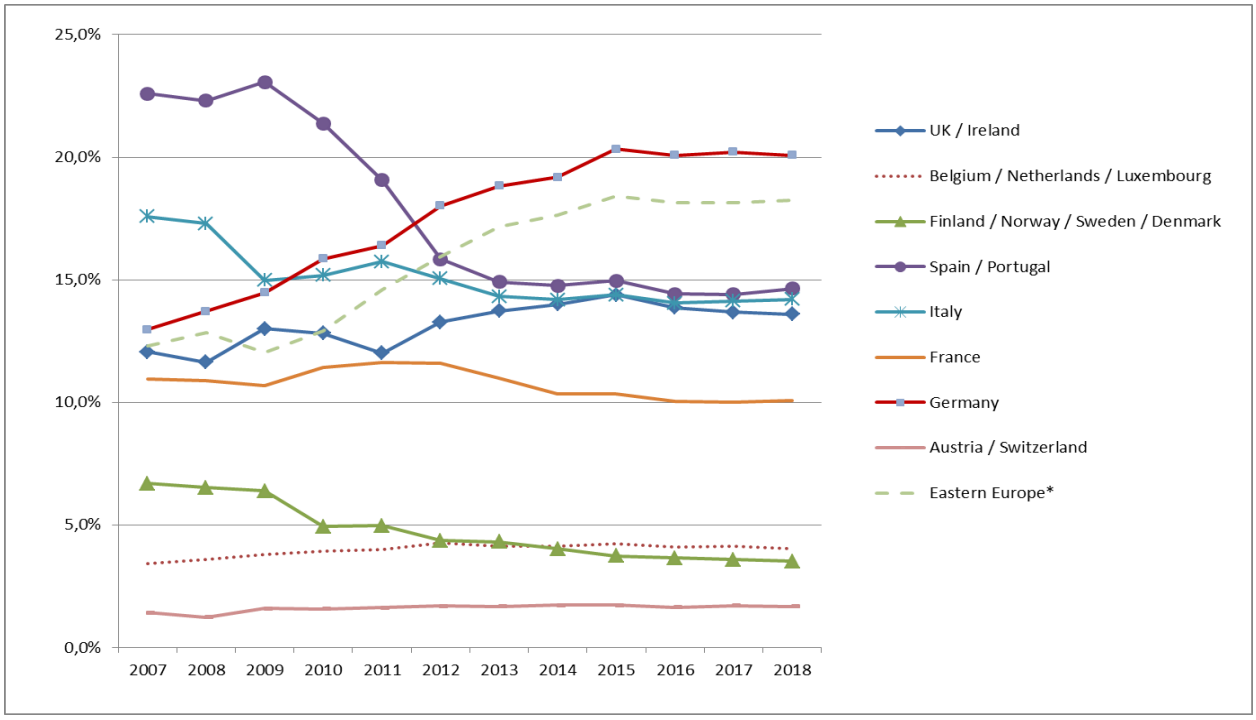

Abbildung 6: Marktanteil der GFK-Produktionsmenge der betrachteten Länder in Europa (Stand: 2018)

Gut zu erkennen ist in der Abbildung der massive Rückgang der Produktionsmenge vor allem in Italien sowie in Spanien/Portugal im Rahmen der Wirtschafts- und Finanzkrise. Diese Verluste konnten bislang nicht ausgeglichen werden. Seit 2012 zeigt sich aber eine deutliche Verstetigung des Produktionsvolumens mit zuletzt steigender Tendenz.

Ebenso überdurchschnittlich ist das Marktwachstum in den osteuropäischen Ländern, welches bei 2,5 % liegt. Leider liegen für die einzelnen Länder keine tiefergehenden Detailbetrachtungen vor.

Unverändert und damit unterhalb des Durchschnitts bleibt das Niveau in diesem Jahr in den Benelux-Staaten sowie in Skandinavien und Österreich/Schweiz. UK/Irland kann nur leicht um 1,3 % zulegen.

Auch für die Türkei meldet der türkische Fachverband erneut ein starkes Wachstum von 7 % auf ein Gesamtvolumen von 300 Kilotonnen. Damit wächst die türkische GFK-Produktion erneut stärker als in jedem anderen europäischen Land und erreicht auch ein deutlich höheres Gesamtvolumen. Die Anwendungen unterscheiden sich von denen der anderen hier betrachteten Länder: 55 % der Produktionsmenge werden für den Baubereich und für die Herstellung von Rohren und Tanks eingesetzt. Auf den Automobil- bzw. Transportbereich entfallen 25 %. Die Windenergie ist der drittgrößte Anwendungsbereich mit 9 %.

Die Länderbetrachtung verdeutlicht die unterschiedlichen Entwicklungen innerhalb Europas. Erklärbar wird dies durch divergierende regionale Märkte. Die GFK-Verarbeitung in Deutschland beispielsweise – mit einem starken Fokus auf den Transportbereich sowie die Elektrik-/Elektronikindustrie – hat ganz unterschiedliche Schwerpunkte als die Industrie in der Türkei – Schwerpunkt Infrastruktur – oder Norwegen/Schweden – Öl- und Gasindustrie. Jeder Markt bedarf hinsichtlich möglicher Entwicklungen immer einer individuellen Betrachtung.

8 Weitere Composites-Materialien

8.1 Kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe

Eine detaillierte Betrachtung des CFK-Marktes folgt im zweiten Teil dieses Berichtes.

Auch wenn der Eindruck in der aktuellen medialen Berichterstattung sowie auf vielen Kongressen und Messen ein anderer ist, bleiben GFK in der Composites-Industrie weiterhin die mit Abstand größte Materialgruppe. Die Verstärkungsfasern sind in über 95 % der Composites-Gesamtmenge Glasfasern (Kurz- und Langfasern, Rovings, Gewebe, Gelege …). Der weltweite Bedarf an Kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen (CFK) betrug im Jahr 2018 geschätzte 128.000 Tonnen. Auf Europa entfielen davon ca. 40.000 Tonnen. Somit haben die CFK einen Mengenanteil von 1-2 %.

8.2 Kurzglasfaserverstärkte Thermoplaste

Auch wenn sich die Materialeigenschaften von Kurzglasfaserverstärkten Materialien zu lang- und endlosfaserverstärkten Systemen – wie oben bereits erwähnt – teils deutlich unterscheiden, so zählt diese wichtige Gruppe von Materialien dennoch zu den Composites. Dies nicht zuletzt schon deshalb, weil es sich um einen mit Fasern verstärkten Kunststoff handelt. Die enthaltenen Glasfasern liegen in aller Regel bei einer Länge < 2mm. Dennoch erhöhen sie das Eigenschaftsniveau deutlich gegenüber nicht-verstärkten Materialien. Hier ist vor allem ein positiver Einfluss auf den E-Modul bzw. die Steifigkeit der Materialien zu nennen. Mit zunehmender Faserlänge ist darüber hinaus auch eine Erhöhung der Festigkeit und Schlagzähigkeit festzustellen. Der europäische Markt für thermoplastische, kurzglasfaserverstärkte Materialien war mit etwa 1.470 Kilotonnen in 2017 *(Quelle: AMAC)* deutlich größer als der hier betrachtete GFK-Markt im selben Zeitraum. Das Wachstum zu 2016 – Marktvolumen 1.360 Kilotonnen – lag bei 8 %, womit dieses Marktwachstum deutlich höher ausgefallen ist als bei allen anderen hier betrachteten Bereichen. Darüber hinaus hat das Gesamtwachstum auch zu den Vorjahren nochmals deutlich zugenommen, was die Bedeutung dieser Materialgruppe nochmals bestätigt. Polyamid ist in diesem Seg-

ment das deutlich dominierende Matrix-Material, gefolgt in einem Abstand von Polypropylen.

Anwendungen finden sich primär im Automobilbereich, aber auch im Elektrik-/ Elektronik-Bereich sowie bei Konsumwaren.

8.3 Naturfaserverstärkte Kunststoffe

Für Bauteile aus Naturfaserverstärkten Kunststoffen (NFK) liegen gegenüber den vergangenen Marktberichten keine aktuelleren Marktzahlen vor. Mit Haupteinsatzgebiet im Automobilsektor wurden in den Ländern der EU im Jahr 2012 92.000 Tonnen NFK hergestellt, wobei der mit Abstand größte Markt der deutsche ist (*Quelle: nova-Institut GmbH*).

9 Ausblick

„Prognosen sind eine schwierige Sache. Vor allem, wenn sie die Zukunft betreffen.“ (Mark Twain).

Trotz der schwierigen Voraussagbarkeit künftiger Entwicklungen gibt es Strömungen, die Einfluss auf die weitere Marktentwicklung auch im GFK-Markt haben könnten:

Der Automotive-Bereich befindet sich derzeit sehr stark im Umbruch. Neben gestiegenen Anforderungen an Abgas- und Emissionswerte gibt es zahlreiche weitere Aspekte, die die Branche bewegen. Zu nennen sind beispielsweise das autonome Fahren, zunehmende Probleme im innerstädtischen Autoverkehr (auch in Ballungsgebieten), ein steigender Vernetzungsgrad mit digitalen Systemen, die Erfassung entsprechender Fahrzeugdaten und nicht zuletzt neue Antriebskonzepte und ausgeweitete Plattformstrategien der OEMs. Alle Entwicklungen zusammen bedeuten nicht weniger als eine massive Umstrukturierung der Branche, die auch entsprechende Materialentscheidungen notwendig machen wird. Die Branche wird sich verändern, wahrscheinlich nicht schlagartig, aber zumindest mittelfristig. Es gibt neue Player am Markt und bisher etablierte Zulieferstrukturen ändern sich oder werden zumindest

hinterfragt. In dieser Zeit des Umbruchs besteht auch immer die Möglichkeit für neue Materialentscheidungen. GFK weist neben dem Leichtbau viele förderliche Eigenschaften für viele Segmente des Transportbereiches auf (auch für die Elektromobilität!). Das geringere Gewicht senkt den Verbrauch, egal ob dieser durch fossile Brennstoffe oder Strom gedeckt wird. Außerdem sind die Materialien nicht nur sehr langlebig und wartungsarm, sie leiten auch weder Strom noch behindern sie, anders als viele metallische Materialien, die Datenübertragung. Daneben bieten die Materialien teils ganz neue Möglichkeiten der Funktionsintegration sowie ein hervorragendes Kosten-Nutzen-Verhältnis. Neben etablierten Serienmaterialien wie SMC und BMC sind es derzeit vor allem die thermoplastischen Materialien, die ihren Weg in die automobile Serie finden.

Derzeit kommt es vielfach zu Verschärfungen von gesetzlichen Regelungen einzelne chemische Stoffe betreffend, beispielsweise für Styrol, Cobaltoktoat oder Titandioxid. Eine Verschärfung der entsprechenden Grenzwerte und Richtlinien hat immer auch einen Einfluss auf deren Verarbeitbarkeit. Es bleibt abzuwarten, inwieweit dies Einfluss auf die weitere Marktentwicklung einzelner Segmente haben wird.

Es sind derzeit neben SMC/BMC und den thermoplastischen Composites vor allem die bereits etablierten kontinuierlichen Verfahren, die stark in den Fokus des Interesses rücken, allen voran die Pultrusion. Sollte es gelingen, über entsprechende Normierung und Standardisierung die Akzeptanz bei den verantwortlichen Materialentscheidern (öffentlich oder privat) zu erhöhen, ist speziell in diesem Bereich großes Wachstum möglich. Dies vor allem deswegen, weil GFK (und auch Composites generell) über deutliche Vorteile gegenüber anderen, etablierten Materialien verfügen. Dieses Wissen muss an die entsprechenden Entscheider weitergetragen werden.

Eine weitere Entwicklungsströmung spricht ebenfalls für eine Zunahme der GFK-Produktion in den nächsten Jahren. Die zunehmende Digitalisierung der Gesellschaft, Stichworte sind beispielsweise Internet of Things, Big Data oder 5G-Standard, erfordert eine immer stärkere Vernetzung aller Akteure. Hierfür bedarf es eines freien Datenflusses. Hier können GFK aufgrund ihrer nicht leitenden Eigenschaften einen zentralen Mehrwert, beispielsweise für Antennen, Hausverkleidungen u. ä. liefern.

Im Bereich der Luftfahrt steigen die Passagier- und auch Frachtzahlen kontinuierlich an. Dies mündet in einem zunehmenden Bedarf an Flugzeugen, die – bei einer Senkung der Flugpreise – möglichst effektiv sein müssen. Hier bedarf es umfangreicher Leichtbaukonzepte, bei denen Composites bereits eine wichtige Rolle spielen und auch weiterhin spielen werden.

Die vorhandenen natürlichen Ressourcen unseres Planeten sind endlich. Dies macht ein Handeln im Bereich der Energiegewinnung in den nächsten Jahren unumgänglich. Wir müssen neue Energiequellen erschließen bzw. die bereits vorhandenen alternativen Energien weiter ausbauen. Egal ob Windenergie, Solarenergie, Gezeitenkraftwerke oder ganz neue, heute noch unbekannte Technologien. Kaum eine dieser Technologien kommt ohne Composites aus. So ist der Energiesektor ein bereits heute wichtiger Markt, dessen Bedeutung auch weiterhin zunehmen dürfte.

Dies waren nur einige Beispiele für mögliche Treiber der Entwicklung. Es bleibt als Fazit: GFK und Composites generell verfügen aufgrund ihrer Vielfältigkeit und der außergewöhnlichen Kombinationsmöglichkeiten über enorme Potenziale in vielen Anwendungsbereichen. Die Materialien sind aber noch zu wenig bekannt bzw. werden nicht in Materialentscheidungen einbezogen. Hier muss ein Umdenken einsetzen, denn Composites sind eine gute, wenn nicht sogar die bessere Wahl. Findet ein Umdenken statt und Composites den Einzug in Normen und Standards, dann ist das Marktwachstum (auch über die bisherige, kontinuierliche Entwicklung hinaus) die kommenden Jahre gesichert.

Der globale CF- und CC-Markt 2018

Marktentwicklungen, Trends, Ausblicke und Herausforderungen

Michael Sauer, Michael Kühnel (CCeV)

10 Allgemeines

In der nun neunten Auflage erscheint seit 2010 jährlich der Composites-Marktbericht von CCeV und AVK, der mittlerweile auch über die Grenzen des deutschen Sprachraums hinaus zunehmende Beachtung findet. Mit 282 Mitgliedern (Stand: 11/2018) stellt der CCeV eine repräsentative Anzahl an Unternehmen, Forschungseinrichtungen und sonstigen Organisationen im **Carbonfaser (CF) -** und **Carbon Composites (CC) -** Markt Deutschlands, Österreichs und der Schweiz dar.

Mitunter wurden Informationen und Daten durch CCeV-Mitglieder bereitgestellt oder selbst vom CCeV erhoben, sowie mit Hilfe externer Marktdaten von u.a. Lucintel [1], [2], Acmite [3] [4], Industry Experts [5] [6], Visiongain [7] und Grand View Research [8] überprüft und ergänzt.

CCeV und die Autoren

Michael Sauer und Michael Kühnel sind Projektarchitekten bei Carbon Composites e.V. und erstellen seit 2014 den CCeV-Marktbericht.

Carbon Composites e.V. (CCeV) ist ein Verbund von Unternehmen und Forschungseinrichtungen, der die gesamte Wertschöpfungskette der Hochleistungs-Faserverbundwerkstoffe abdeckt. CCeV vernetzt Forschung und Wirtschaft in Deutschland, Österreich und der Schweiz.

CCeV versteht sich als Kompetenznetzwerk zur Förderung der Anwendung von Faserverbundwerkstoffen. Die Aktivitäten des CCeV sind auf die Produktgruppe „Marktfähige Hochleistungs-Faserverbundstrukturen“ ausgerichtet. Die Schwerpunkte liegen auf Faserverbundstrukturen mit Kunststoffmatrices, wie sie aus vielen Anwendungen auch einer breiteren Öffentlichkeit bekannt sind, sowie auf Faserverbundstrukturen mit Keramikmatrices mit ihrer höheren Temperatur- bzw. Verschleißbeständigkeit und auf Hochleistungs-Faserverbundwerkstoffen für das Bauwesen.

11 Begriffsklärung

Im Sinne einer besseren Vergleichbarkeit mit anderen Marktberichten, sowie um eine bessere Nachvollziehbarkeit der gezeigten Daten zu gewährleisten, sind im Folgenden Die beiden geläufigsten Wachstumsraten sowie deren Berechnung aufgeführt:

- **Averaged Annual Growth Rate (AAGR)** = Arithmetic Mean Return (AMR) = Arithmetisches Mittel aus n jährlichen Wachstumsraten (AGR):

$$AAGR(t_1, t_n) = \frac{AGR(t_1) + AGR(t_2) + \cdots + AGR(t_n)}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} AGR(t_i)$$

- **Compound Annual Growth Rate (CAGR)** = jährliche Wachstumsrate zwischen n Jahren unter Annahme eines prozentual gesehen konstanten Wachstums:

$$CAGR(t_1, t_n) = \left(\frac{A(t_n)}{A(t_1)}\right)^{\frac{1}{n}} - 1 \quad \leftrightarrow \quad A(t_n) = A(t_1)(1 + CAGR)^n$$

In diesem Marktbericht werden ausschließlich Wachstumsraten auf Basis des CAGR berechnet, da dieser die bei konstanten Marktwachstumsraten auftretenden exponentiellen Wachstumsverhältnisse besser abbildet. Die in den folgenden Grafiken dargestellten Trendlinien basieren aus diesem Grund ebenfalls auf exponentiellen Kurven.

12 Der globale Carbonfaser-Markt

12.1 Entwicklung des globalen CF-Bedarfes und CF-Gesamtumsatz

Für das Jahr 2017 wurde ein globaler CF-Bedarf von etwa 70,5 Tsd. Tonnen ermittelt. Dies entspricht einem Wachstum von ca. 11,0% und liegt leicht über den Erwartungen des Vorjahresberichts. Seit 2010 ergibt sich damit eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate (CAGR) von 11,45%. Auf dieser Basis kann für das Jahr 2018 bereits eine globale CF-Bedarfsmenge von etwa 78,5 Tsd. Tonnen abgeschätzt werden. Der weltweite Gesamtumsatz mit CF im Jahr 2017 beläuft sich auf ca. 2,59 Mrd. US$, wobei ein Wachstum von ca. 10,7% gegenüber dem Vorjahr erreicht werden konnte. Dies entspricht einem durchschnittlichen Jahreswachstum von 11,10% seit 2013 (CAGR). Somit kann für 2018 ein Gesamtumsatz von 2,88 Mrd. US$ skizziert werden.

Sowohl im Hinblick auf die Bedarfsmenge als auch auf den erzielten Umsatz zeigt sich nach 2015 (58 kt; 2,15 Mrd. US$) und 2016 (63,5 kt; 2,34 Mrd. US$) also eine weitere Steigerung der jährlichen Wachstumsraten, die vor allem im Vergleich zum aktuellen Erhebungszeitraum signifikant ausfällt. Diese Entwicklung wird als Erholungsreaktion auf die allgemeine wirtschaftliche Rezession von 2009, welche den Composites Markt bis 2015 nachhaltig belastet hatte, gedeutet. Auch für die kommenden Jahre ergibt sich eine entsprechend positive Erwartungshaltung. Die aktuellen Zahlen erlauben die Einschätzung, dass die bisher prognostizierten Gleichgewichtsziele, z.B. für CF-Bedarf im Bereich 10 – 13 %, dabei noch übertroffen werden könnten, wenn sich die jährlichen Wachstumsraten einpendeln.

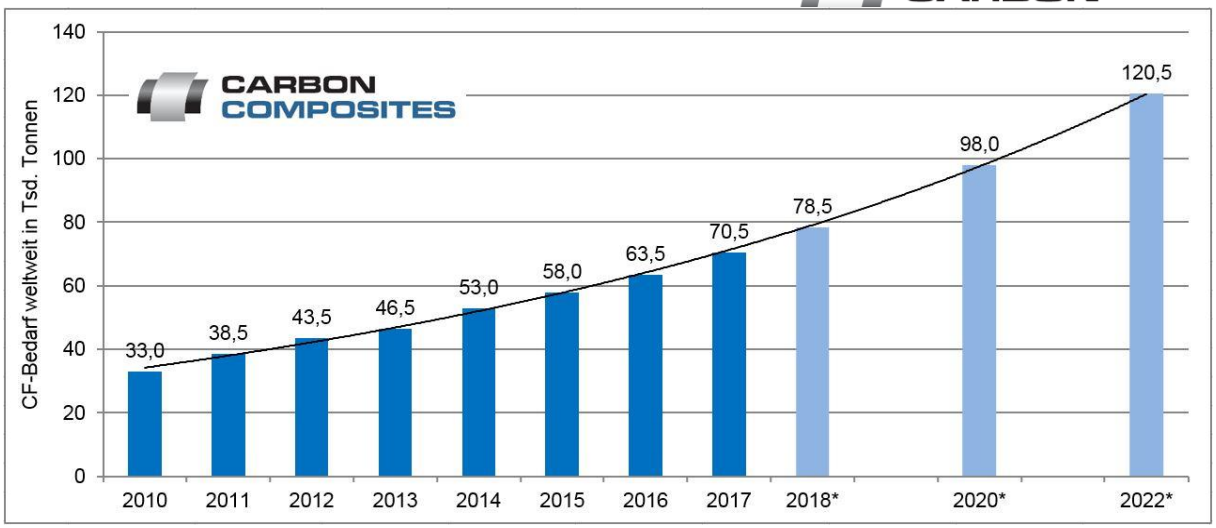

Abbildung 7: Entwicklung des globalen CF-Bedarfes in Tsd. t von 2010 bis 2022 (*Schätzungen; 11/2018).

12.2 Die globale CF-Kapazität nach Hersteller

Abbildung 2 zeigt die theoretische jährliche Produktionskapazität der weltweit führenden Carbonfaser-Hersteller, die auf dem heutigen Stand ca. 149,3 Tsd. t/a beträgt. Im Vergleich zum Vorjahr wurden dafür bei verschiedenen Herstellern insgesamt ca. 12,8 kt/a neue Produktionskapazität aufgebaut. Dies entspricht einem Wachstum von ca. 9,4 % im Vergleich zum Vorjahr. Neben den bereits in Umsetzung befindlichen Aufbauprogrammen wurden auch weitere Expansionsmaßnahmen für die kommenden Jahre angekündigt, sodass ca. 37,5 kt/a zusätzliche Kapazität bzw. eine Steigerung um ca. 25 % gegenüber der aktuellen Gesamtkapazität bereits abzusehen ist. Hierbei ist anzumerken, dass in dieser Abschätzung wie auch in Abbildung 2 die sehr große Ankündigung des chinesischen Herstellers Kangde Group zunächst nur bis zur ersten Ausbaustufe (bis 2019) berücksichtigt ist. Mittelfristig ist hier eine Erweiterung auf ca. 66 kt/a geplant. Diese ambitionierten Ziele und die zugehörige Investitionsbereitschaft begründen eine sehr positive Erwartungshaltung gegenüber dem zukünftigen Wachstum des Gesamtmarktes.

In Gegenüberstellung zu einem aktuellen Bedarf von ca. 78,5 kt (Abschätzung für 2018) ergibt sich eine deutliche Überkapazität, die mit einer theoretischen Auslastungsquote von etwa 52,6 % interpretiert werden kann. Allerdings beinhalten die gezeigten theoretischen Kapazitäten keine auftretenden Einschränkungen der Anlageneffizienz, z.B. durch Chargenwechsel, Ausschuss und unerwartete Standzeiten. Über die vergangenen Berichtsjahre hinweg ist diese theoretische Kennzahl stetig weiter gestiegen (z.B. 2016: 46,5 %). Die kontinuierlich anhaltende Investitionsbereitschaft der CF-Hersteller ist ein Indiz für eine Reaktion auf diese Entwicklung, so-

wie vor allem auf real deutlich höhere Anlagenauslastungsquoten. Natürlich basiert diese Haltung auch auf dem anhaltenden Vertrauen in Zukunftsperspektiven eines weiterhin stark wachsenden Faserverbundmarktes. Dabei werden frühzeitig die aufwendigen Investitions- und Aufbaumaßnahmen angestoßen, um sich auf diese Szenarien einzustellen und langfristig Marktanteile zu sichern. In einschlägigen Bereichen ergeben sich im konzentrierten Marktumfeld schnell Chancen auf eine Vormachtstellung die effektiv wahrgenommen werden. Allerdings zeigen die Bilanzen der Hersteller inzwischen auch deutlich, dass sie bereits heute sehr rentable und stabile Geschäftsmodelle etablieren konnten, wodurch die weitere Investitionsbereitschaft zusätzlich beflügelt wird. Auf dieser Basis wurden im Berichtszeitraum große Aufbauvorhaben abgeschlossen und weitere signifikante Expansionen angekündigt.

Toray zeigte sich im vergangenen Jahr sehr aktiv darin seine Weltmarktführerschaft weiter zu untermauern. Ende 2017 wurde hierfür der Ausbau des Werkes in Jalisco (Mexiko) erfolgreich abgeschlossen [9]. Inzwischen besitzt die Unternehmensgruppe eine Gesamtkapazität von 47,5 kt/a, was ca. 31,8% der weltweiten Herstellungskapazität entspricht [10]. Gegenüber 2016 (ca. 31,2%) konnte die Position also weiter ausgebaut werden. Im April 2018 hatte Toray darüber hinaus bereits die nächste Vergrößerung für das Werk in Nyergesújfalu (Ungarn) angekündigt [11]. Beide aktuellen Expansionsprojekte liegen beim Tochterunternehmen Zoltek und beziehen sich auf deren large-tow-Produkte (50K) [12]. Steigende Nachfrage aus dem automobilen Umfeld wie etwa zuletzt seitens Cadillac ATS/ CTS oder Audi A8/ R8 bedingt diese Entwicklung [9] [13]. Neben der bereits starken Marktposition im Luftfahrtbereich unterstreicht Toray damit seine Bestrebungen in Richtung Automobilsegment nochmals deutlich und nimmt auch hier inzwischen eine führende Position ein.

Mit deutlichem Abstand folgen an zweiter und dritter Stelle die CF-Produzenten SGL Carbon und Mitsubishi Chemical Carbon Fiber and Composites (MCCFC). Nach den großen Programmen in den letzten Jahren sind hier aktuell keine Ankündigungen bzgl. neuer Anlagenkapazität bekannt. Beide Unternehmen konzentrieren sich derzeit eher auf den Ausbau ihrer vertikalen Wertschöpfungskette durch entsprechende Akquisitionen, v.a. in Richtung der Weiterverarbeitung und Bauteil-Herstellung [14] [15].

Die unmittelbare Aufholjagd auf die Podiumsplätze wird von Teijin, bzw. dessen Tochter Toho Tenax, sowie von Hexcel angeführt. Teijin hat hierfür bereits seine große Aufbaumaßnahme im Wert von 600 Mio$ für ein neues Werk in Greenwood (USA) gestartet und Ende 2017 zu diesem Zwecke ein weiteres Subunternehmen (Teijin Carbon Fiber Inc.) gegründet, sowie bereits den Spatenstich gefeiert [16] [17]. Kurzfristig sinkt Tohos Kapazität jedoch geringfügig, da eine Carbonfaserlinie in Rockwood (USA) auf die Produktion von oxidierten PAN-Fasern (Pyromex®) umgestellt wurde. Die geplante Expansion in Greenwood soll diesen Rückgang jedoch in naher Zukunft mehr als kompensieren [18].

Auch Hexcel blickt auf ein sehr aktives Investitionsjahr zurück. Der erste Bauabschnitt des größten Investitionsprojekts in der Hexcel-Historie, inklusive der CF-Linien, konnte 2017 in Roussillon (Frankreich) fertiggestellt und die Linien bereits in Betrieb genommen werden [19]. Zusätzlich wurde das Werk in Salt Lake City (USA) erweitert, auf dem Weg zum erklärten Ziel einer Gesamtkapazität von 15 kt/a bis 2020 [20] [21].

Auch die chinesischen Faserhersteller arbeiten weiter am Ausbau ihrer Kapazitäten. Zhongfu-Shenying erweitert auf insgesamt 6 kt/a und ist damit aktuell größter Produzent in China. Die Entwicklung orientiert sich schwerpunktmäßig an High-Performance-Anwendungen, sodass nach Unternehmensangaben inzwischen auch eine neue Faser auf T1000 Niveau entwickelt wurde [22]. Auch Hengshen Co. Ltd. erhöht auf eine Gesamtkapazität von 5 kt/a vor dem Hintergrund einer neuen strategischen Partnerschaft mit Bombardier. Ziel ist die gemeinsame Luftfahrt-Zertifizierung von Hengshens PrePreg-Materialien, um dann als Zulieferer aufzutreten [23].

Besondere Aufmerksamkeit hat der relativ neue chinesische Marktteilnehmer Kangde Group erweckt, der bereits über ca. 1,7 kt/a Produktionskapazität in Langfang (China) verfügt. Die aktuellen Ankündigungen gehen jedoch weit über diesen Status hinaus. Mit einem Investitionsvolumen von ca. 50 Mrd. CNY (ca. 7,3 Mrd. US$) ist der mit Abstand größte CF-Produktionsstandort weltweit in Planung. Ein enormes Areal wurde hierfür bereits in Rongcheng (China) erschlossen. In der ersten Ausbaustufe sollen ca. 6 kt/a bis Anfang 2019 erreicht werden. Mittelfristig sind 66 kt/a als Ziel definiert. Dies entspräche ca. 44% der heutigen globalen Anlagenkapazität an

einem einzigen Standort und würde die heutige Position des Weltmarktführers Toray deutlich übertreffen. Seit der Ankündigung dieser hohen Zielmarke im September 2017 wird eine Zeitlinie zur Fertigstellung bis 2023 genannt. Auch wenn dies sehr ambitioniert anmutet, deuten die aktuellen Aktivitäten auf einen sehr schnellen Aufbau an diesem Standort hin, wobei es den genauen Umfang abzuwarten gilt.

Die langfristigen Investitionsankündigungen seitens DowAksa, für Werke in USA und Russland, sowie Hyosung, für einen großen Produktionsstandort in Jeonju (Südkorea), bleiben auf heutigem Stand weiterhin bestehen. Im Falle von Jeonju ist das notwendige Areal bereits vollständig erschlossen, sodass eine Expansion in naher Zukunft erwartet wird. Ursprünglich wurde eine erste Aufbaustufe auf ca. 5 kt/a bis Ende 2018 angekündigt, aktuell kann jedoch noch kein weiterer Ausbau bestätigt werden [24].

Auf „Sonstige“ Faserhersteller entfallen im Berichtszeitraum ca. 12,8 kt/a. Dabei werden u.a. viele kleinere asiatische Hersteller wie Yingyou Group Corp., Dalian Xingke Carbon Fibre Co. Ltd., Kureha Corp., Weihai Guangwei Composites Co. Ltd., Shenzhen Xiangu High-Tech. Co. Ltd., Osaka Gas Chemicals Co. Ltd. und Bluestar Fibres Co. Ltd. (Eine Tochter von ChemChina) zusammengefasst [1] [4] [6] [8]. Der chinesische Hersteller Ordos Yaxin Carbon Fibre Co. Ltd. (ca. 2 kt/a) hatte bereits im letztjährigen Berichtszeitraum Expansionspläne angekündigt, die bisher jedoch nicht bestätigt werden können [4]. Zusätzlich sind hier der russische Hersteller Alabuga-Fibre LLC (ca. 1,7 kt/a), sowie der indische CF-Produzent Reliance Industries (ca. 2,5 kt/a; ehemals Kemrock Industries and Exports Ltd.) enthalten [25]. Reliance Industries als eines der einflussreichsten Unternehmen Indiens, insbesondere auch im Bereich Textil und Polymerfasern, lässt ein sehr interessantes Zukunftspotential vermuten.

Zusammengefasst ergibt sich eine sehr starke Marktkonzentration mit ausgeprägter Dominanz weniger großer Hersteller. Die auf heutigem Stand zehn führenden CF-Produzenten stellen ca. 132,3 kt/a bzw. 88,6% der jährlichen Produktionskapazität (2016: 87,5%). Die Top 5 kommen auf 101,9 kt/a bzw. 68,3% (2016: 69,3%); für die Top 3 beläuft sich die Gesamtkapazität auf 76,8 kt/a bzw. 51,4% (2016: 52,7%).

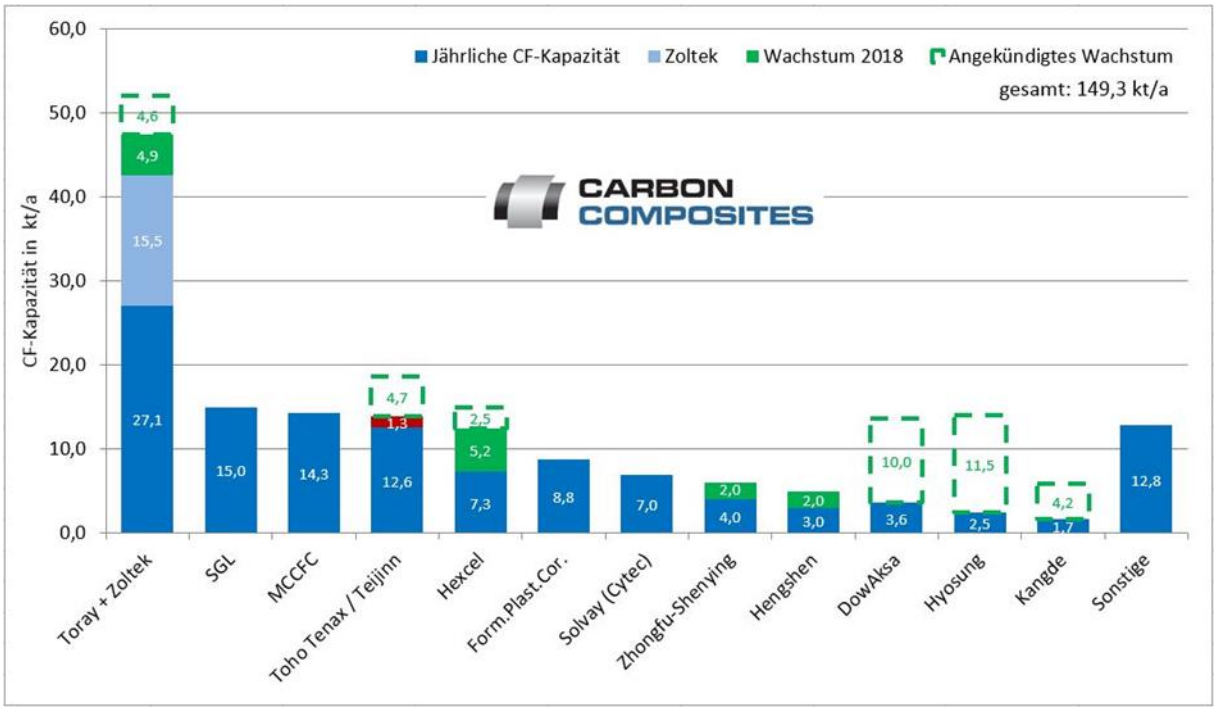

Abbildung 8: Theoretische, jährliche CF-Produktionskapazitäten in Tsd. Tonnen nach Herstellern (11/2018).

12.3 CF-Bedarf und CF-Kapazität nach Region

Die globale Produktionskapazität von 149,3 kt/a, sowie der weltweite jährliche Bedarf an Carbonfasern von ca. 78,5 kt (Schätzung für 2018) werden in Abbildung 3 und Abbildung 4 nach Regionen aufgeschlüsselt dargestellt. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass aufgrund der verschiedenen hergestellten Carbonfaser-Arten und -qualitäten, sowie der variierenden länderspezifischen Anwendungen keine direkte Vergleichbarkeit zwischen eigener Produktion und Bedarf hergestellt werden kann. Jedoch zeigen sich einige Merkmale die durchaus zur Skizzierung übergeordneter Marktstrukturen herangezogen werden können. Die Untergliederung der Kapazitäten kann auf Basis der gegebenen Datenlage im direkten Vergleich sehr viel detaillierter erfolgen, da quasi alle Produktionsstandorte und zugehörige Kapazitäten bekannt sind.

Es zeigt sich, dass die aktuell größte Anlagenkapazität in den USA angesiedelt ist (45,3 kt/a; 30%), gefolgt von Japan (27,1 kt/a; 18%) und China (17,3 kt/a; 12%). Die nachfolgenden Länder werden dabei meist nur durch ein bis zwei ansässige Werke vertreten. Mit Hinblick auf die relativ geringe Anzahl großer CF-Hersteller die bereits

mehrere Standorte aufgebaut haben, zeigt sich dennoch ein ziemlich fein verteiltes Gesamtbild. Auch wenn eine Vielzahl von Rahmenbedingungen auf die Standortentscheidungen der Hersteller Einfluss nimmt, liegt der Schluss nahe, dass hier entlang der nachfolgenden Vertriebskanäle, sowie vorhandener Forschungs- und Entwicklungsstrukturen gehandelt wird. Gleichzeitig werden Einflüsse durch Zölle und Währungswechselkurse minimiert. Dazu werden in unmittelbarer Nähe des Weiterverarbeiters bzw. Anwenders lokale Anlagenkapazitäten für die jeweils geforderte spezifische Faserqualität errichtet. Dies gilt auch für die beiden größten aktuellen Aufbauprogramme seitens Kangde und Hyosung. Schwerpunktmäßig für den nationalen Weiterverarbeiter und Anwender werden hier große Standorte in Rongcheng (China) bzw. Jeonju (Südkorea) errichtet. Im Falle von Hyosung kommen vor allem LG Hausys und Hyundai als Abnehmer in Frage. Die Kangde Group plant eine eigene Wertschöpfung bis zur Bauteilherstellung an einem nahegelegenen Standort in Changzhou und zielt neben dem chinesischen Automobilmarkt, u.a. im Bereich Elektromobilität, auf das nationale Luftfahrtprogramm rund um die COMAC C919 und CRAIC CR929.

In Anlehnung an die großflächigere Aufteilung aus Abbildung 3 ergeben sich für die Kapazitäten Nordamerikas (inkl. Mexiko) ca. 55,3 kt/a (37%), für Europa ca. 24,4 kt/a (16%), für Japan weiterhin 27,1 kt/a (18%), für das „restliche Asien inkl. Pazifikraum und China (rAPC)“ ca. 37,2 kt/a (26%), sowie für den „Rest der Welt“ (RoW) ca. 5,3 kt/a (3%). In Bezug auf den Berichtszeitraum des Vorjahres zeigt sich das stärkste Kapazitätswachstum für Nordamerika (+13,6%), gefolgt von rACP (+12,05%), sowie Europa (+9,91%). Die gerade gestarteten Expansionsprogramme seitens Kangde und Hyosung werden diese Abfolge in naher Zukunft zunehmend verschieben. Für Japan und RoW sind im diesjährigen Erhebungszeitraum keine Änderungen zu verzeichnen.

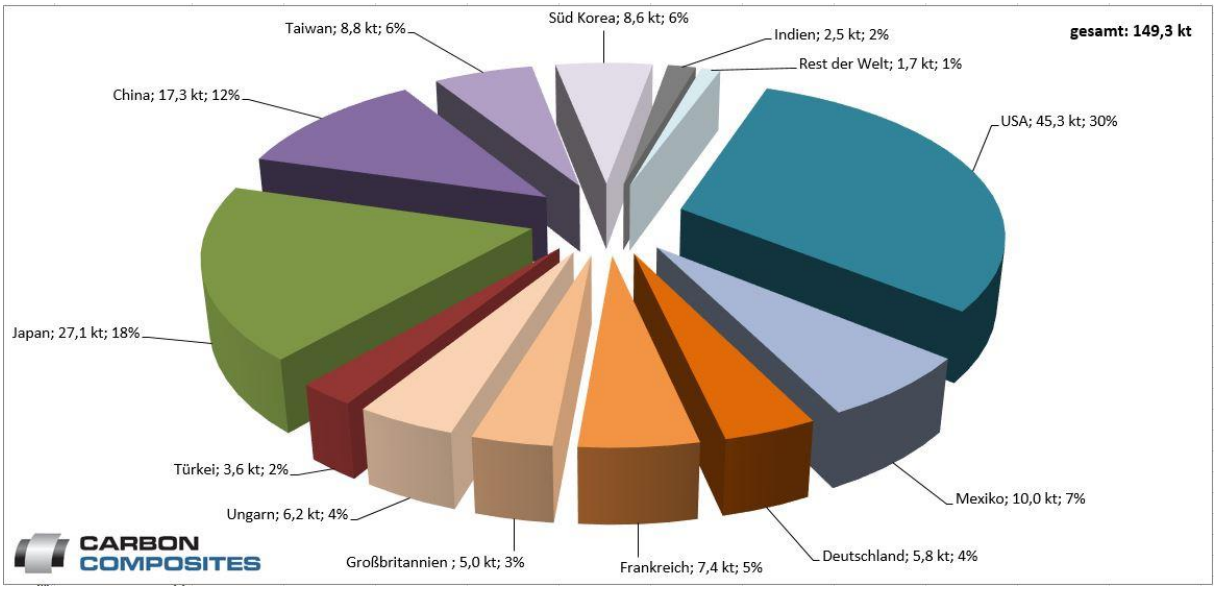

Abbildung 9: CF-Bedarf weltweit in Tsd. Tonnen nach Regionen (11/2018).

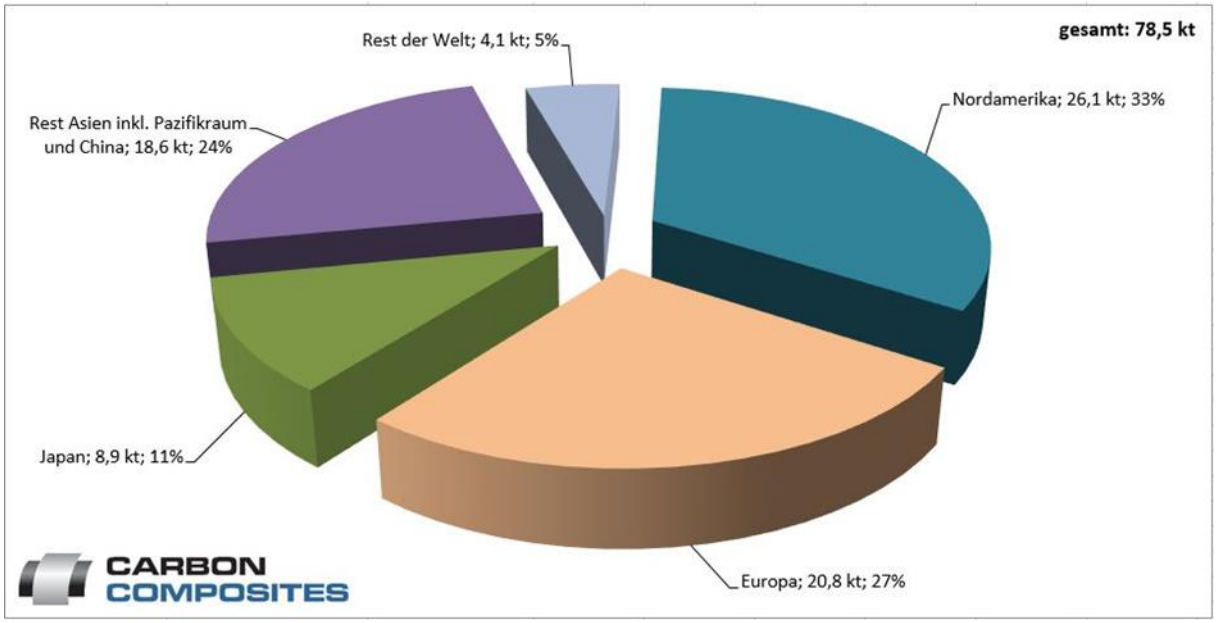

Abbildung 10: Theoretische, jährliche CF-Kapazitäten in Tsd. Tonnen nach Regionen (11/2018).

Diese Anlagenkapazitäten stehen einer Bedarfsmenge von insgesamt 78,5 kt/a (Schätzung für 2018) gegenüber. Auch wenn hierbei Nordamerika seine Führungsposition (33%) weiterhin behaupten kann, zeigt eine detailliertere Betrachtung das stärkste individuelle Wachstum für rAPC mit ca. 13,3 %/a im Vergleich zu Europa mit ca. 10,4 %/a, Japan mit ca. 10,9 %/a und auch Nordamerika mit ca. 11,6 %/a gegenüber dem Vorjahresberichtszeitraum. Zusammengefasst ergibt sich ein durchschnittliches Gesamtwachstum (CAGR) von ca. 11,45 % seit 2010.

Im Vergleich zwischen Abbildung 3 und Abbildung 4 lassen sich Merkmale übergeordneter Marktstrukturen skizzieren, wenn auch, u.a. aufgrund verschiedener Fasertypen, keine direkte Vergleichbarkeit hergestellt werden kann. Hierfür werden die prozentualen Anteile am Gesamtmarkt herangezogen, da bspw. die absoluten Zahlen der Produktionskapazitäten an theoretische Auslastungsraten gekoppelt sind und somit die prozentualen Anteile die realen Verhältnisse besser abbilden sollten.

Auf dieser Grundlage kann ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Bedarf und Kapazität im Falle von Nordamerika (33% zu 37%), sowie rAPC (24% zu 26%) festgestellt werden. Im Kontrast hierzu zeigt sich für Europa (27% zu 16%) eine deutlich auf Importe angewiesene Marktstruktur. Gleichzeitig ist der europäische Wirtschaftsraum relativ hohen Energiekosten sowie Umweltauflagen unterworfen. Dadurch lässt sich die vergleichsweise geringe Ansiedlung von Unternehmen innerhalb der energieintensiven CF-Herstellung erklären. Der Fokus der Wertschöpfung liegt folglich weiter nach hinten versetzt innerhalb der Gesamtprozessketten bei der Weiterverarbeitung und Anwendung von CF. Als direkter Gegensatz hierzu erweist sich die Zusammensetzung des japanischen Marktes (11% zu 18%), wobei ein deutliches Überangebot umfangreiche Exporte ermöglicht. Die japanische Industrie ist im Bereich der Chemie und Rohstoffgewinnung historisch besonders stark vertreten. Aus dieser Position heraus fand bereits früh eine Erweiterung der Portfolios in den Bereich Carbonfasern statt, wobei häufig die bewährten Geschäftsmodelle beibehalten wurden. Ausgeweitet auf Gesamt-Asien (Japan + rAPC) setzt sich diese Struktur entsprechend fort. Dem Bedarf (35%) steht hierbei eine sehr hohe Kapazität mit einem Anteil von ca. 44% der weltweiten Produktionskapazität (60,3 kt/a) gegenüber.

13 Der globale Carbon-Composites-Markt

13.1 Aufteilung nach Matrix, weltweiter CC-Bedarf und CC-Gesamtumsatz

Nahezu die gesamte Carbonfaser-Produktion wird zu Verbundwerkstoffen (Composites) weiterverarbeitet. Dabei werden die Fasern in einen Matrixwerkstoff eingebettet, um die jeweils besten Eigenschaften dieser unterschiedlichen Materialklassen in einem neuen Werkstoff zu kombinieren. Neben vielen weiteren Vorteilen besitzen solche Carbonfaser-Verbundwerkstoffe (Carbon Composites; CC) vor allem ein besonders hohes Leichtbaupotential. Je nach Anwendungsfall können verschiedene metallische Legierungen (Metal-Matrix-Composites; MMC), keramische Verbindungen (Ceramic-Matrix-Composites; CMC) oder auch Kohlenstoff (carbon-fibre-reinforced carbon; CFC) als Matrixmaterial dienen. Der Großteil der Verbundwerkstoffe ist jedoch mit einer Polymermatrix (carbon-fibre-reinforced polymer bzw. carbonfaserverstärkter Kunststoff; CFRP bzw. CFK) ausgerüstet. In Abbildung 5 ist eine Unterteilung der Carbonfaser-Verbundwerkstoffe (CC) nach Matrixmaterial jeweils aufgeschlüsselt nach Bedarfsmenge und Umsatz dargestellt. Das größte Marktsegment CFK (nach Umsatz) wird weiterhin nochmals hinsichtlich der verwendeten Polymermatrix unterteilt, wobei auf Grundlage der gegebenen Datenlage eine Aufteilung hinsichtlich Umsatz detaillierter erfolgen konnte.

Dabei wird deutlich, dass CFK sowohl nach Tonnage (127,8 kt; 82,7%) als auch hinsichtlich des erzielten Umsatzes (16,48 Mrd. US$; 71,2%) eine stark dominante Markt-Position unter den Carbonfaser-Verbundwerkstoffen einnimmt. Diese konnte sich über die vergangenen Jahre hinweg sogar immer weiter ausbauen. Innerhalb des CFK-Segments entfällt der Großteil des Umsatzes auf duromere Matrixsysteme (69%). Gleichzeitig steigt jedoch der Anteil thermoplastischer Matrizes stetig seit 2014 (24%; 25%; 26,3%; 27,6%) auf heute bereits 28,8%, was auf den absoluten Umsatz bezogen einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum (CAGR) von etwa 16,8% entspricht. Nicht-Polymere Matrixwerkstoffe nehmen hier aktuell ca. 17,3% der Volumenströme ein, erzeugen dabei aber etwa 28,8% der Umsätze. Die liegt vor allem an den hierin enthaltenen Sonderlösungen, z.B. für Luft- und Raumfahrt-Anwendungen, die hohe Preise erzielen lassen. Den größten Anteil unter den nicht-

polymeren Matrixsystemen nehmen dabei CMC-Werkstoffe ein, die etwa für Hochleistungs-Bremsscheiben oder Hochtemperaturanwendungen zum Einsatz kommen.

Insgesamt konnte für das Jahr 2017 eine weltweite Bedarfsmenge an Carbonfaser-Verbundwerkstoffen (CC) von ca. 140,6 kt, sowie ein Gesamtumsatz von etwa 21,14 Mrd. US$ ermittelt werden. Gegenüber dem Vorjahresbericht beschreibt dies ein Wachstum von 10,97% (Bedarf) bzw. 9,48% (Umsatz). Damit ergibt sich seit 2013 ein durchschnittliches jährliches Wachstum (CAGR) von 10,03% (Bedarf) bzw. 9,51% (Umsatz). Damit kann auch für das Jahr 2018 bereits eine globale CC-Bedarfsmenge von 154,7 kt, sowie ein CC-Gesamtumsatz von 23,15 Mrd. US$ abgeschätzt werden.

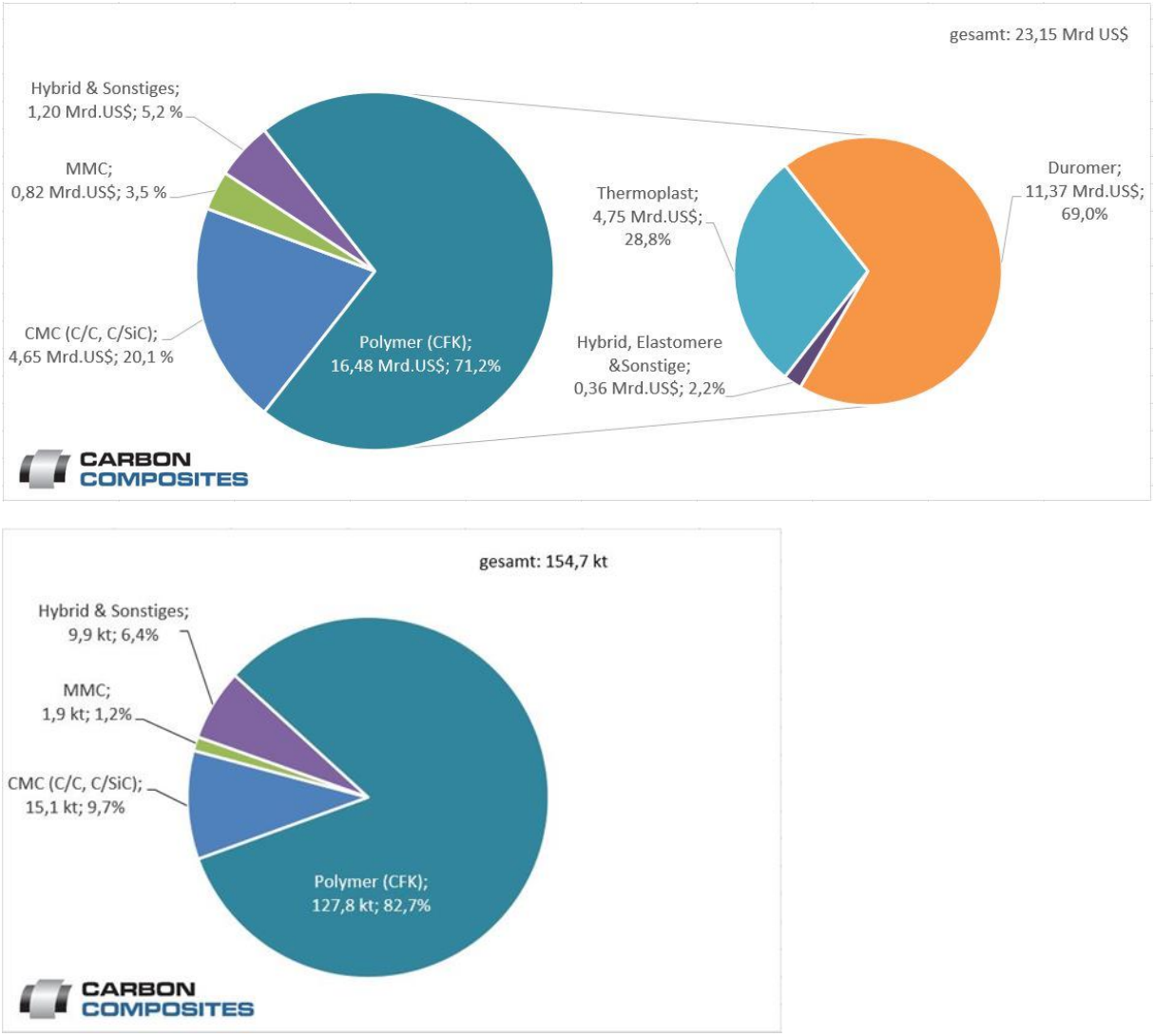

Abbildung 11: Aufteilung des globalen Carbon-Composite Marktes nach Matrixwerkstoffen bezogen auf die Bedarfsmenge (oben) und den Umsatz (unten; 11/2018).

13.2 Entwicklung des globalen CFK-Marktes und CFK-Gesamtumsatz

Innerhalb des Carbon Composite Marktes nimmt die Werkstoffklasse CFK das mit Abstand größte Segment ein und gilt auch weiterhin als relevantester Wachstumstreiber für die Branche. Für das Jahr 2017 konnte für den CFK-Bereich eine globale Bedarfsmenge von 114 Tsd. Tonnen ermittelt werden. In Bezug auf das Vorjahr stellt sich ein Wachstum von ca. 11,4% ein, wobei die Erwartungen des Vorjahresberichts übertroffen werden konnten. Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate (CAGR) seit 2010 beläuft sich damit auf 12,18%. Auf dieser Basis kann für das Jahr 2018 bereits eine globale CFK-Bedarfsmenge von etwa 128 Tsd. Tonnen abgeschätzt werden.

Der weltweite Gesamtumsatz mit CFK im Jahr 2017 beläuft sich auf ca. 14,73 Mrd. US$, wobei ein Wachstum von ca. 11,3% gegenüber dem Vorjahr erreicht werden konnte. Dies entspricht einem durchschnittlichen Jahreswachstum von 11,88% seit 2013 (CAGR). Somit kann für 2018 ein vorläufiger CFK-Gesamtumsatz von 16,48 Mrd. US$ skizziert werden.

Analog zum CF-Markt zeigt sich auch für CFK sowohl im Hinblick auf die Bedarfsmenge als auch auf den erzielten Umsatz nach 2015 (91 kt; 11,6 Mrd US$) und 2016 (101 kt; 13,23 Mrd. US$) ein konstant starkes Jahreswachstum. Auch für die kommenden Jahre ergibt sich eine entsprechende positive Erwartungshaltung, die auch vom Aufwind der insgesamt stark wachsenden Weltwirtschaftslage profitiert.

Abbildung 12: Entwicklung des globalen CFK-Bedarfes in Tsd.t von 2010 bis 2022 (*Schätzungen; 11/2018).

Innerhalb der gesamten Carbon Composites Branche stellt CFK sowohl umsatzbezogen als auch im Hinblick auf die Bedarfsmengen das dominante Segment dar. Entsprechend überschneiden sich verschiedene Charakteristika hinsichtlich der Marktstruktur. Ebenso wie für CF, erlauben auch im Falle von CFK, die vorliegenden Daten in diesem Jahr die vorsichtige Prognose, dass der Gleichgewichtsbereich der Wachstumsraten gegenüber der bisherigen Annahme etwas weiter angehoben werden kann. Es bleibt jedoch noch abzuwarten wann genau das erwartete Einpendeln der jährlichen Wachstumsraten einsetzt. Im direkten Vergleich ist auffällig, dass die Wachstumsraten für CFK über die letzten Jahre hinweg immer leicht über denjenigen für CF lagen. Inzwischen nähern sich die Werte aber zunehmend an, wie auch an den CAGR für Bedarf (CF: 11,45%; CFK: 12,28%) und Umsatz (CF: 11,10%; CFK: 11,88%) ersichtlich wird. Die lange vorhandene Differenz könnte durch die deutlich weniger konzentrierte Marktzusammensetzung des CFK-Bereichs im Vergleich zum CF-Markt begründet werden. Durch eine Vielzahl teilnehmender Akteure entsteht ein natürlicher Konkurrenzdruck, welcher die Gesamtentwicklung beschleunigt. Zusätzlich ergeben sich im CFK-Bereich mehr Eingriffspunkte in die Wertschöpfungskette, sodass eine Vielzahl von nachfolgenden Prozessschritten parallel optimiert werden kann, wohingegen Preise und Gewinnspannen für die vorangegangene CF-Produktion über längere Zeiträume konstant blieben.

Diese grundlegend unterschiedliche Marktstruktur ist das relevanteste Charakteristika des CFK-Segments für die Erläuterung zugehöriger Wachstumszahlen. An dieser Stelle ist jedoch anzumerken, dass inzwischen eine sehr deutliche Aktivität in Richtung einer vertikalen Marktintegration von einer Vielzahl von teilnehmenden Unternehmen zu verzeichnen ist. Dabei wird versucht größere Bereiche der Wertschöpfungskette im eigenen Unternehmen abzubilden oder zumindest innerhalb von strategischen Kooperationen durchgehende Gesamtlösungen anbieten zu können. Diese Vorgehensweise wird vor allem von den CF-Herstellern vorangetrieben, die durch hohe Marktanteile in ihrem Segment über die notwendigen Ressourcen sowie über die nötige Vernetzung mit potentiellen Kunden verfügen.

13.3 CC-Bedarf und CC-Umsatz nach Regionen

Die weltweite Bedarfsmenge an Carbon Composites von ca. 154,7 kt, sowie der zugehörige erzielte Umsatz von ca. 23,15 Mrd. US$ (Schätzungen für 2018) werden in Abbildung 7 und Abbildung 8 nach Regionen aufgeschlüsselt dargestellt.

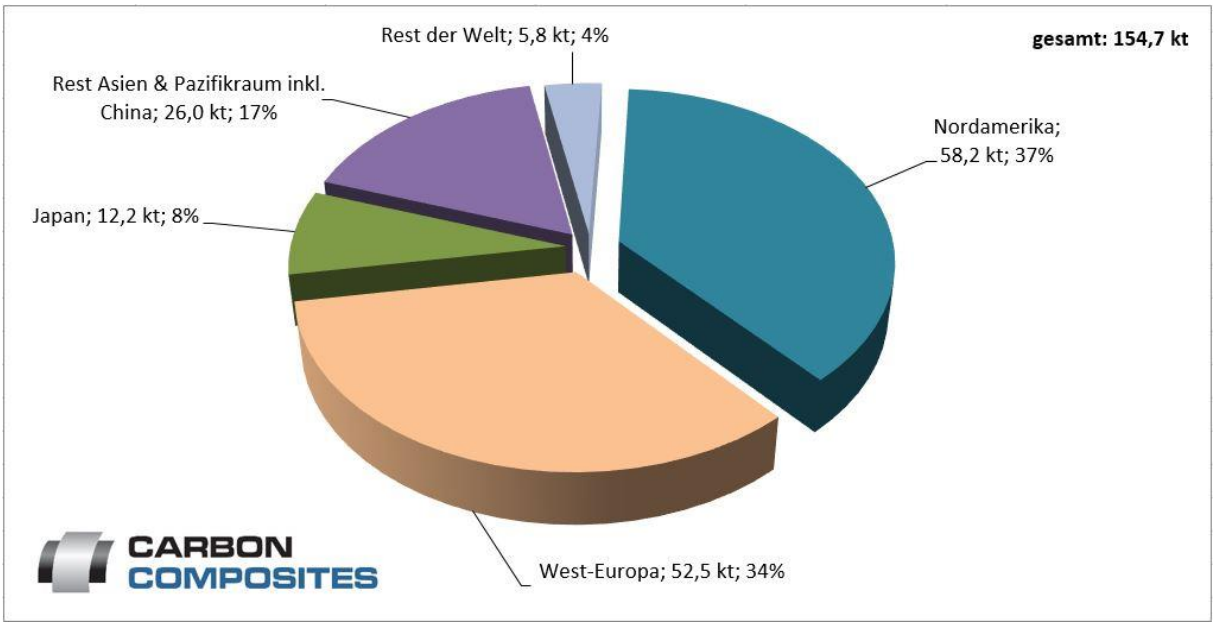

Abbildung 13: CC-Bedarf weltweit in Tsd. Tonnen nach Regionen (11/2018).

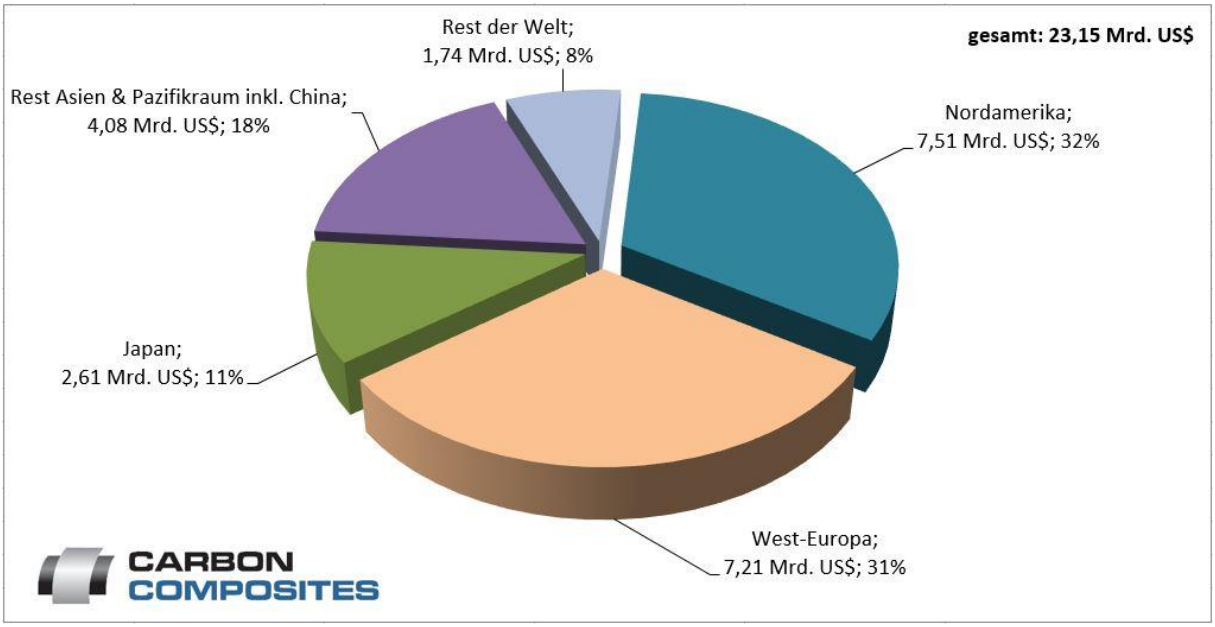

Abbildung 14: CC-Umsatz weltweit in Mrd. US$ nach Regionen (11/2018).

Eine interessante Korrelation ergibt sich unter Zuhilfenahme der Erläuterungen aus Abbildung 3, da die regionale Aufteilung der CF-Bedarfsmenge sehr ähnlich der CC-Umsatzverteilung ausfällt. Dies kann dadurch begründet werden, dass praktisch die gesamte CF-Produktion in die CC-Herstellung fließt und somit angefragte CF Mengen natürlich auch unmittelbar lokale CC-Umsätze erzeugen.

Weiterhin können die aus der Interpretation von Abbildung 3 und Abbildung 4 hervorgegangenen Einschätzungen zu den übergeordneten Marktstrukturen unter Berücksichtigung von Abbildung 7 und Abb. 8 wie folgt erweitert werden. Zunächst ist für die gezeigte Einschätzung ersichtlich, dass für das Jahr 2018 die CC-Bedarfsmenge für die asiatische Region (inkl. Japan und China) mit ca. 25% im Vergleich geringer ausfällt als für Nordamerika (37%) und für Europa (34%). Dies kann dadurch begründet werden, dass aktuell noch die Mehrzahl der Endmontagewerke CC-verarbeitender Anwender in Europa oder Nordamerika angesiedelt sind. Die CC-Materialströme, meist in Form von fertigen Bauteilen, werden also von dort angefragt. Über die letzten Jahre hinweg zeigt sich jedoch bereits ein deutliches Wachstum der CC-Bedarfsmengen für die asiatische Region. Auf die absolute Bedarfsmenge bezogen kann hierzu ein CAGR von 12,09% seit 2014 abgeschätzt werden, welcher damit merklich oberhalb des Bedarfswachstums des CC-Gesamtmarkts liegt (10,03% CAGR seit 2013).

In Betrachtung des gesamtasiatischen Raums werden nach dem Aufbau großer CF-Produktionskapazitäten nun die vorhandenen Wertschöpfungsketten erweitert. Die gezeigten CC-Umsätze mit einer über alle Regionen sehr gleichmäßigen Verteilung unterstreichen diesen Trend. Dabei liegt die Erklärung nahe, dass die CC weiterverarbeitende Industrie, also die Bauteilhersteller, bereits im asiatischen Raum sehr aktiv sind und diese Umsätze erzeugen. Für die kommenden Jahre ist also davon auszugehen, dass zeitlich verzögert zum Aufbau großer CF-Produktionskapazitäten bzw. zu bereits gestarteten Expansionsvorhaben, sowie nach erfolgter Etablierung zugehöriger Weiterverarbeiter, auch lokale Anwender am Ende der Wertschöpfungskette folgen werden. China, Südkorea und Japan sind hier in individuellen Schlüsselpositionen, jedoch mit regional unterschiedlichen Rahmenbedingungen. Es bleibt abzuwarten, inwieweit sich eher protektionistisch geprägte Strukturen mit dem Fokus

eines Aufbaus nationaler Wertschöpfungsströme oder global agierende Netzwerke unter Ausnutzung internationaler Synergiepotentiale, durchsetzen werden.

13.4 CC-Bedarf und CC-Umsatz nach Anwendungen

Die globale jährliche Bedarfsmenge an Carbon Composites von ca. 154,7 kt, sowie der zugehörige erzielte Umsatz von ca. 23,15 Mrd. US$ (Schätzungen für 2018) werden in Abbildung 9 und Abbildung 10 nach Anwendungen aufgeschlüsselt dargestellt. Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass die Datengrundlage gegenüber dem Vorjahresbericht deutlich ausgeweitet wurde, sodass sich neue Berechnungsmodelle ermöglichten. Da hierdurch keine direkte Vergleichbarkeit mehr gewährleistet werden kann, wird auf jährliche Wachstumsprognosen im Vergleich zu früheren Berichten verzichtet.

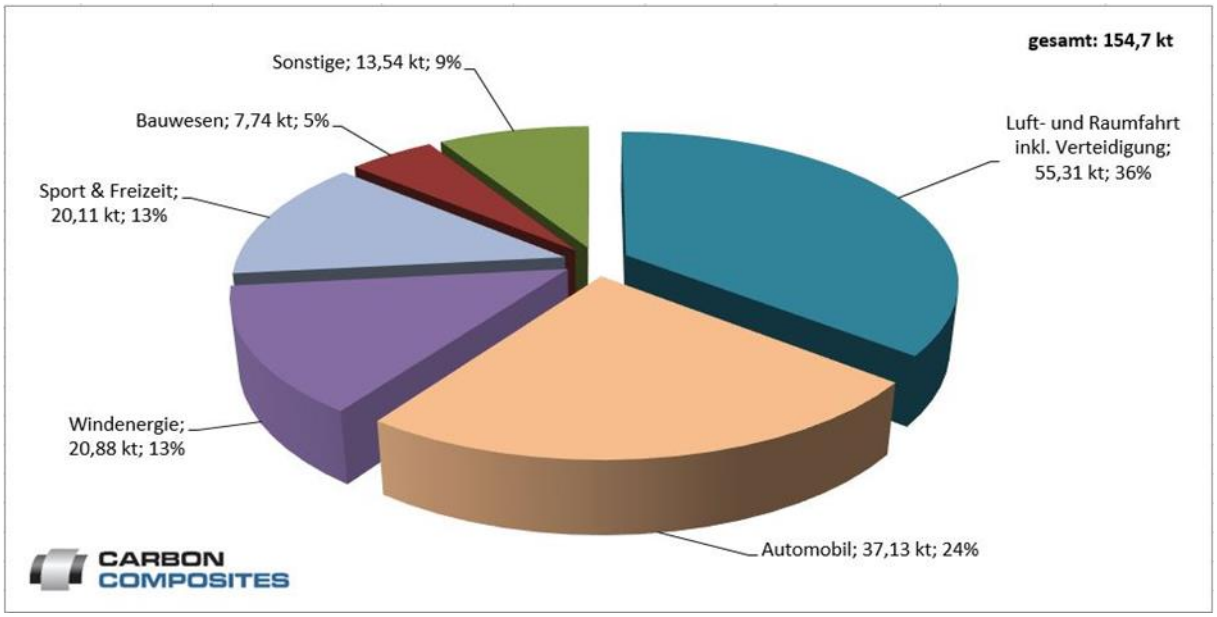

Abbildung 15: CC-Bedarf weltweit in Tsd. Tonnen nach Anwendungsgebieten (11/2018).

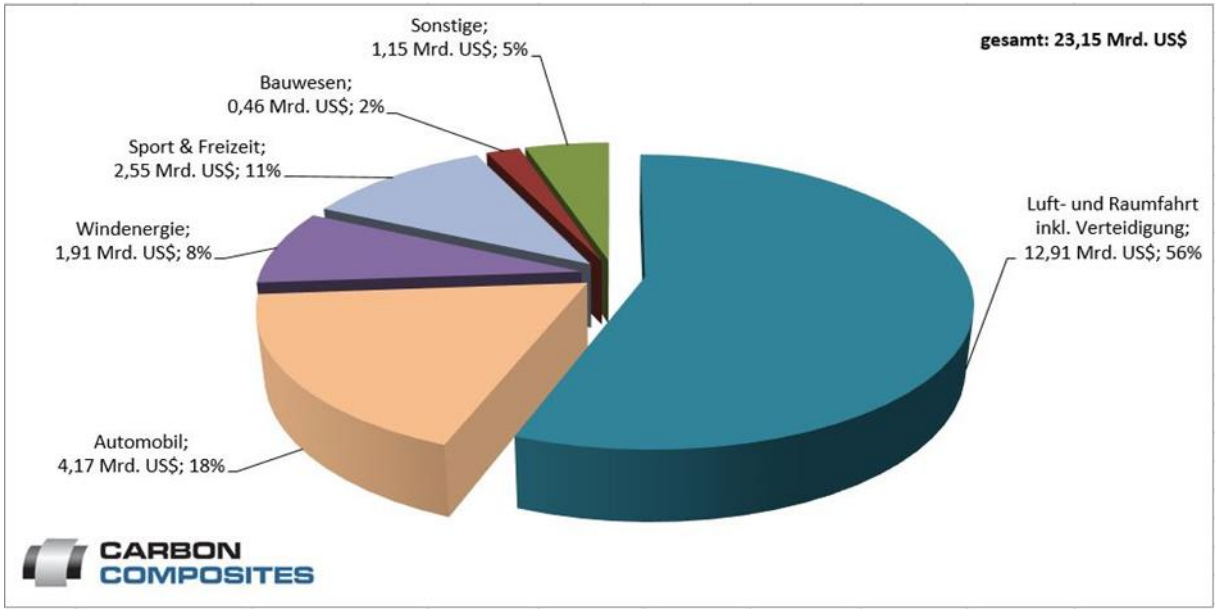

Abbildung 16: CC-Umsatz weltweit in Tsd. Tonnen nach Anwendungsgebieten (11/2018).

Der Bereich Luft- und Raumfahrt (inkl. Verteidigung) konnte sich als stark dominantes Umsatzsegment etablieren und beinhaltet etwa 56% (12,91 Mrd. US$) des CC-Gesamtumsatzes, wobei jedoch nur ca. 36% (55,31 kt) der weltweiten CC-Bedarfsmenge angefordert werden. Hohe Qualitäts- und Sicherheitsansprüche, sowie vor allem die damit verbundenen Zertifizierungs- und Qualifizierungskosten in diesem Anwendungsbereich führen hier zu deutlich erhöhten Kilogrammpreisen. Dabei ist die kommerzielle Luftfahrt in Zeiten konstant niedriger Flugpreise als wichtigster Wachstumstreiber zu benennen. Insbesondere die aktuellen Kernmodelle Boeing B787 und Airbus A350XWB bestehen zu großen Teilen aus CC. Beide Modelle befinden sich derzeit noch im Produktions-Ramp-Up, um der weiter steigenden Nachfrage der Airlines nachzukommen. Zusätzlich setzen auch neue Modelle wie etwa die Boeing 777X und nicht zuletzt die chinesische COMAC C919 in ihrer Materialauswahl auf CC in großen Anteilen innerhalb ihrer Struktur. Aber auch die Modelle mit besonders hoher Stückzahl der Airbus A319/20/21neo-Reihe und Boeing 737 MAX 7/8/9-Reihe verwenden CC in mehreren Baugruppen wie etwa der Triebwerksverkleidung (CFM LEAP). Im Bereich Verteidigung führen vor allem die Flugzeug-Programme F-35, Boeing KC-46, Airbus A400M und Embraer KC-390, sowie die Hubschrauber-Programme V-22 Osprey, Black Hawk, Sikorsky CH-53K und Airbus H160 zu einer stabilen Nachfrage [9] [20] [26]. Das sehr positive Gesamtumfeld wurde auch bei der „Farnborough International Airshow“, einem der wichtigsten Ver-

kaufsevents der Branche, offenkundig. In diesem Rahmen veröffentlichte die International Air Transport Association (IATA) ihre Einschätzung für ein Wachstum der wichtigen Kenngröße „revenue passenger mile“ um ca. 7,6% in 2017. Gleichzeit führen immer höhere Umwelt- und Lärmschutzauflagen, sowie die Entwicklung effizienterer Antriebssysteme zu einer höheren Austauschrate älterer Flugzeugmodelle und zu Nachrüstprogrammen (Helikopter-Rotorblätter, Flugzeug-Triebwerke), wodurch auch die CC-Nachfrage ansteigt [20]. Auch die aktuellen Aktivitäten im Raumfahrtsektor wirken sich bereits positiv auf den Composites-Markt aus. Durch die vermehrte Privatisierung und den entstehenden Konkurrenzdruck wird in den kommenden Jahren ein beschleunigtes Wachstum erwartet. Innovative Unternehmen wie etwa SpaceX oder Blue Origin geben bereits heute eine Vision der zukünftigen Raumfahrttechnik und setzen dabei verstärkt auf Composite-Werkstoffe, z.B. in Boostern, Verkleidungen und Cargo-Doors [9] [27] [28]. Für diesen Sektor lässt sich also für die kommenden Jahre bereits ein sehr positiver Ausblick skizzieren.

Der Anwendungsbereich Automobil bildet sowohl umsatzbezogen (4,17 Mrd.US$; 18%) als auch hinsichtlich Bedarfsmenge (37,13 kt; 24%) das zweitgrößte Segment. Im Standard-Automobilbau wirkt eine deutlich erhöhte Preissensibilität in Bezug auf Materialauswahl, sowie vor allem in Bezug auf die notwendige großserienfähige Prozesstechnik. Der reine Leichtbau-Aspekt bzw. die resultierende Gewichtsersparnis bewirkt hier im Vergleich zum Luftfahrtsegment nur einen deutlich verringerten Mehrwert. Um wiederum die Vorteile der anisotropen Faserstruktur ausschöpfen zu können, sind häufig neue Bauteil-Designs inkl. angepasster Fertigungstechnologien erforderlich. Dabei müssen Hersteller zunächst größere Investitions- und Entwicklungsaufwände überwinden. Auffällig ist hierbei das steigende Interesse an derartigen Technologien seitens Tier1-Zulieferern, mit dem Ziel verbreiterter Portfolios. Neben kleinen und mittelständischen Unternehmen mit hohem Innovationscharakter sind hier inzwischen auch nahezu alle global agierenden Zulieferer an entsprechenden Forschungs- und Entwicklungsprojekten beteiligt. Gleichzeitig bleiben aber auch die OEMs selbst, meist durch strategische Kooperationen mit ausgewählten CF- und CC-Produzenten, aktiv. Für den Betrachtungszeitraum sehr interessant ist etwa die in Zusammenarbeit zwischen u.a. Voith Composites und Audi entwickelten CFK-Komponenten der Audi A8, R8 Coupé, R8 Spyder und R8 e-tron Modelle [13]. Die

eingesetzte Kombination aus Fibre-Placement-Verfahren mit Hochdruck-RTM-Technologie konnte als durchgängige Prozesskette bis zur geforderten Großserienfähigkeit entwickelt werden. Die hohe Flexibilität lässt in naher Zukunft eine Übertragung auf weitere Bauteile erwarten. Weiterhin wird im automobilen Umfeld bereits seit längerer Zeit die Sheet-Molding-Compound (SMC)-Technologie besonders intensiv erforscht. Im Fokus stehen hochintegrierte Bauteilstrukturen, die bereit in zahlreichen prototypischen Anwendungsfällen aber auch Serienanwendungen umgesetzt werden konnten. Unter Einsatz von SMC-Material des Herstellers MCCFC ist beispielweise der komplex geformte, hintere Türrahmen des neuen Toyota Prius PHV (Release: Februar 2017) gefertigt, wobei Taktzeiten von 2-5 min erreicht werden [15]. Insgesamt ist im sehr komplexen Marktgefüge des Automobilsektors derzeit noch nicht einschätzbar wie umfangreich die Marktdurchdringung der CC-Werkstoffe ausfallen wird. Durch die sehr hohen Massendurchsätze der gesamten Automobilindustrie, sowie das stetige Wachstum, reichen hier jedoch bereits kleinste Einsatzmengen pro Fahrzeug für eine signifikante Auswirkung im vergleichsweise jungen CC-Gesamtmarkt. Weiterhin bieten übergeordnete Neustrukturierungen infolge des Wandels zur Elektromobilität oder in Richtung der Brennstoffzelle, aktuell nie dagewesene Chancen für die Integration neuer Werkstoffe in der Materialauswahl zukünftiger Fahrzeuge. Multi-Material-Konzepte bieten also bereits fundierten Anlass für eine positive Zukunftsperspektive.

Auch der Windenergie-Sektor profitiert von Umstrukturierungsmaßnahmen, wobei die flächendeckende Umsetzung der Klimaziele im Fokus steht. Dabei steigen die Bestrebungen zur Umsetzung der Energiewende in Europa, etwa vor dem Hintergrund des aktuell diskutierten Braunkohleausstiegs in Deutschland. Auch in Asien gewinnen erneuerbare Energieträger über die vergangenen Jahre hinweg signifikant an Bedeutung. Gleichzeitig bleibt abzuwarten, in welcher Form sich der Austritt der USA aus dem Pariser Klimaschutzabkommen auf die nationale Windindustrie in den kommenden Jahren auswirken wird. Auf technischer Ebene ist jedoch ein hohes Einsatzpotential bzw. eine Einsatznotwendigkeit für die immer größer werdenden Windradblätter, besonders im Offshore-Bereich, vorhanden. Häufig werden inzwischen auch kleinere Blätter durch größere ersetzt (Repowering). Nahezu alle Windrad-Modelle neuerer Generationen in großer Bauweise sind auf einen hochvolumigen

Einsatz von CC in Zug- und Druckgurten angewiesen. Beispielsweise hat bereits im Oktober 2017 der weltweit größte Windkraftanlagenhersteller Vestas Wind Systems im Rahmen eines mehrjährigen Zuliefervertrags mit Hexcel die Umstellung auf die „next-Generation“ Windblattserie begonnen [29]. Informationen der WWEA (World Wind Energy Association) zufolge stieg im Jahr 2017 die weltweit installierte Gesamtkapazität (539,6 GW) um ca. 10,6%. Laut Bericht des GWEC (Global Wind Energy Council) blieb die Menge der Neuinstallationen dennoch hinter den Erwartungen zurück. Als Grund werden die immer häufiger eingesetzten Auktionsverfahren für die Vergabe von neuen Projekten genannt, welche zu einem Bieterwettkampf mit minimalen Margen führen [14]. Kurzfristig wird hierdurch das Wachstum dieses Segments, sowie auch der Einsatz von CC, eingebremst. Mittel- und langfristig rücken jedoch die Klimaziele in den Vordergrund, sodass hier weiterhin ein stabiler Wachstumsmarkt besteht. Aktuell sind etwa 85% der gesamten Windkraftkapazität landesspezifisch auf die Top 10 verteilt, angeführt von China, USA und Deutschland [14]. Somit ergibt sich ebenfalls noch ein hohes Potential aus zahlreichen bisher unerschlossenen Regionen.

Der Bereich Sport & Freizeit erzielt gemessen am Vergleich zwischen Bedarfsmenge und erzieltem Umsatz in der vorliegenden Einschätzung die zweithöchsten Kilogrammpreise. CC besitzt in diesem Segment bereits eine hohe Marktdurchdringung und ist in zahlreichen Anwendungen als Standard etabliert. Darin enthalten sind sowohl großvolumige Einsatzgebiete wie etwa kommerzieller Sportgerätebau (Golf, Fahrrad, Hockey, Tennis, Wintersport) als auch besonders hochpreisige Individuallösungen, etwa im Bootsbau oder Leistungssport. In diesen Bereichen dominieren technische Anforderungen sowie Marketingaspekte deutlich über preisliche Restriktionen. Insbesondere CFK konnte sich hierbei sowohl durch sein hervorragendes Leistungsspektrum als auch nicht zuletzt durch sein Image als Hochleistungswerkstoff erfolgreich durchsetzen. Durch die Fokussierung auf den Grenzbereich technischer Machbarkeit entstehen in diesem Segment zahlreiche Innovationen, auch im Bereich der CC-Werkstoffe, die sich in die anderen Anwendungen ausbreiten können. Immer weiter verkürzte Entwicklungszyklen lassen hier auch in Zukunft spannende Neuerungen erwarten.

CC-Anwendungen im Baubereich sind aktuell noch wenig etabliert. Gleichzeitig bergen die in Aussicht gestellten Einsatzzwecke sehr großen Massendurchsatz. Bereits einzelne Lösungen würden signifikante Auswirkungen auf den CC-Gesamtmarkt entfalten. Aktuelle umfangreiche Forschungsaktivitäten fokussieren sich dabei u.a. auf faserverstärkte Einleger für Betonbauweisen (z.B. Rebars, Strukturmatten/ Grids), z.B. zur Substituierung von Stahlarmierungen. Durch die Korrosionsbeständigkeit der CC können dabei gleichzeitig große Mengen an Beton eingespart werden, da die minimal einzuhaltenden Wandstärken zur Prävention des Eindringens von Feuchtigkeit deutlich herabgesetzt werden können (was einen erheblichen Einfluss auf CO_2-Emissionen im Baugewerbe hätte). Außerdem werden aktuell auch Lösungen im Bereich Zertifizierung (u.a. Flammschutz) umfangreich diskutiert. Die bisherigen Ergebnisse lassen weitere weitreichende Innovationen in diesem Segment erwarten, wodurch die gezeigte konservative Einschätzung mittel- bis langfristig aufgelöst werden könnte.

Auf Grundlage der gegebenen Datenlagen können nicht alle Anwendungsgebiete detailliert aufgeschlüsselt werden, sodass die Segmente „Medizintechnik“ (v.a. Prothesen, Röntgenliegen), „Marine“, „Maschinen- und Anlagenbau“ und „Energiespeicher“ (Wasserstofftanks, Industrie-Gas-Transport) unter Sonstiges eingegliedert sind.

14 Trends und Ausblick

14.1 Horizontale und vertikale Marktintegration

Parallel zu den übergeordneten Marktbewegungen existieren aktuell umfangreiche konzerninterne Aktivitäten. Diese gliedern sich in horizontale Aufbauprozesse zur Erweiterung des eigenen Portfolios auf einer definierten Produktebene, sowie in vertikale Expansionsprozesse zur Erschließung von Anteilen der vor- oder nachgeschalteten Wertschöpfungskette. Ziel ist der Aufbau durchgängiger Prozessketten im eigenen Unternehmen, um die Entwicklung effizienter Gesamtlösungen anbieten zu können und gleichzeitig auf allen Ebenen der Wertschöpfung als Zulieferer aufzutreten. Die folgenden Erläuterungen sind beispielhaft mit Fokus auf die CF-Hersteller angelegt, welche hier eine Schlüsselposition einnehmen [30].

Hinsichtlich der horizontalen Diversifikation zeigt sich über die vergangenen Jahre ein deutliches Aufweichen historisch etablierter Geschäftsmodelle. Während über lange Zeiträume hinweg relativ definierte Abgrenzungen bezüglich der Portfolios sowie der Zielanwendungen herrschten, verschwimmen diese Grenzen nun zunehmend. Ein Meilenstein dieser Entwicklung ist sicherlich die Übernahme von Zoltek durch Toray Ende 2013 und die Erweiterung des bisher auf die Luftfahrt spezialisierten Angebots um large-tow Produkte für Windkraft- und Automobilindustrie. Spätestens hier fiel der Startschuss für die aktuell von nahezu allen großen CF-Herstellern weiterhin vorangetriebene Verbreiterung der Produktpalette. Nach Durchlaufen entsprechender Entwicklungszyklen werden nun Zertifizierungen vorangetrieben, sodass die meisten CF-Hersteller bereits (oder in naher Zukunft) eigene Fasern in breitgefächerten Qualitäten jeweils auf die spezifischen Anwendungen zugeschnitten, anbieten können. Beispielsweise unterstreicht Toray seine Ambitionen durch beide aktuell laufenden Investitionsprogramme in Mexiko und Ungarn als Folge gestiegener Nachfrage aus dem automobilen Umfeld (u.a. Cadillac ATS/ CTS oder Audi A8/ R8-Reihe) [9] [10] [13]. Aber auch z.B. Hexcel erweitert seine Produktpalette um die Fasern HexTow IM5 & HexTow HM63 und deckt nun insgesamt ein sehr breites Kosten/Nutzen-Spektrum ab [20] [31]. Die neueste Entwicklung seitens SGL wiederum verbindet automobile und luftfahrtspezifische Anforderungsprofile in ihrer „Ad-

vanced Modulus“ Faser SIGRAFIL® C T50-4.8/280 (50K). Trotz hoher Filamentanzahl (large-tow) erreicht diese Faser einen sehr hohen E-Modul sowie ebenfalls weiterhin hohe Festigkeiten und soll damit für beide Anwendungsgebiete zur Verfügung stehen [32]. Eine ähnliche Entwicklungsrichtung hat MCCFC eingeschlagen, jedoch noch nicht bis zur Produktreife entwickeln können. Interessanterweise soll hierfür die von SGL übernommene Produktionslinie in Evanston (USA) eingesetzt werden [15] [33].

Abseits definierter Produktebenen zeigt sich eine sehr stark vorangetriebene vertikale Marktintegration der CF-Hersteller. Meist durch Direkt-Akquisitionen oder im Rahmen von strategischen Kooperation (z.B. Joint Ventures) konnten die Hersteller inzwischen signifikant ihren Einfluss auf die Gesamt-Wertschöpfungskette erweitern. Zunächst standen dabei die Ausgangsmaterialien der CF in Form von Grundchemikalien, sowie Precursor-Fasern im Vordergrund. Als nächste Stufe folgte die nachgeschaltete textile Weiterverarbeitung zu Geweben, Gelegen und schließlich auch zu bebinderten Halbzeugen und Prepregs. Nahezu alle namhaften CF-Hersteller besitzen in diesen Gebieten bereits umfangreiche eigene Kapazitäten. Gleichzeitig halten auch hier die Investitionen an, wie etwa die fertiggestellte PAN-Linie in Decatur (USA), eine NCF-Linie in Leicester (UK), sowie ein großes Werk in Casablanca (Marokko) zur Herstellung von Honeycomb-Kernmaterialien, seitens Hexcel erkennen lässt [20]. Außerdem übernimmt Hexcel das französische Unternehmen Structil, ein ehemaliges Joint Venture zwischen Safran Ceramics mit der Mitsubishi Chemical Corp., als Hersteller von Prepregs und pultrudierten Profilen für Triebwerkseinhausungen, sowie Interieur-Bauteilen [20]. Auch Toho investiert in sein Joint Venture INITZ (mit SK Chemicals Korea) für die Massenproduktion von Matrixmaterialien, insbesondere PPS [18]. Der Konkurrent Solvay (Cytec) übernimmt Ende 2017 den PAN-Hersteller European Carbon Fiber GmbH (ECF) zur Produktion einer 50K large-tow Variante [34]. Weiterhin gründet Solvay zusammen mit Strata (Mubadala) ein Joint Venture in Al Ain (Vereinigte Arabische Emirate) zur Produktion von PrePreg für die Primärstruktur des Boeing 777X Programms [35]. Die mitunter größte Akquisition im Berichtszeitraum, sowie auch die größte in der eigenen Unternehmensgeschichte, stellt die Übernahme der „composites materials division“ TCAC (Niederlande) von TenCate durch Toray Mitte 2018 dar [36]. Hierdurch sichert sich Toray umfangreiche

zusätzliche Kapazität für die Prepreg-Herstellung inkl. thermoplastischer Tapes [9] [37].

Durch stetige Integration weiterer Verarbeitungsschritte liegt der aktuelle Fokus dieser vertikalen Expansion inzwischen auf Höhe der Bauteilebene. Hier treffen die CF-Hersteller auf ein deutlich weniger konzentriertes Marktumfeld vieler kleiner und mittlerer Akteure. Bereits kooperierende Unternehmen aus Zuliefererverhältnis werden nun zu attraktiven Übernahmezielen. Vor diesem Hintergrund übernimmt Toho die Continental Structural Plastics Holding Corporation als einen der weltweit größten SMC-Zulieferer der Automobilindustrie [38]. Diese strategische Entscheidung geht einher mit der stärkeren Orientierung in Richtung Automobilsegment. Dabei spielt der stark unter Verschluss gehaltene und in Kooperation mit General Motors in Entwicklung befindliche CFRTP Sereebo-Prozess [39], als „thermoplastischer SMC-Prozess“ mit Taktzeiten <1,5min, vermutlich ebenfalls eine Rolle. Auch der Konkurrent MCCFC investiert in die SMC-Technologie durch die Übernahme von Gemini Composites (USA), sowie die aufgebauten SMC-Kapazitäten in Vilshofen (Deutschland) [40]. Eine zukunftsweisende Übernahme tätigt Hexcel im Berichtszeitraum mit Oxford Performance Materials (OPM), einem führenden OEM für orthopädische und neurologische Implantate, die in medizintechnischer Qualität im 3D-Druck hergestellt werden. Die eingesetzte OXFAB-Technology kommt aber auch bereits für hochleistungsfähige Thermoplast-Bauteile (z.b. PEKK) in der Luftfahrt-, Energie- und Elektronikbranche zum Einsatz [20]. Der CF-Hersteller SGL befindet sich derzeit in einer umfangreichen Neuausrichtung. In dessen Zuge wurden Ende 2017 die Fremdanteile der einstigen Joint Ventures SGL-ACF (ehemals mit BMW) und Benteler-SGL (ehemals mit Benteler) vollständig übernommen. Gleichzeitig wurden die eigenen Anteile an SGL-Kümpers an den Joint-Venture-Partner verkauft [14], welcher an die Kangde Group weiterverkaufte. Diese zeigt sich in diesem Bereich äußerst aktiv, bspw. auch durch zahlreiche Memorandum of Understanding (MoU), z.B. mit Hexion [41] [42] [43].

Der deutlichen Zunahme von Übernahmen und einer steigenden Marktkonzentration steht eine hohe Anzahl an Startups gegenüber, die v.a. auf Bauteilebene in den Markt eintreten. Für große Unternehmensgruppen erschwert sich somit die Identifikation geeigneter Übernahmeziele. Insgesamt bleibt abzuwarten ob sich hier langfristig

eine Marktzusammensetzung entsprechend dem CF-Herstellungs-Segment aufbaut oder inwieweit sich das aktuell stark diversifizierte Umfeld mit einer durch Konkurrenzdruck beschleunigten Entwicklung durchsetzt.

14.2 Umstrukturierung als Einstiegschance

Das Wachstum der globalen Automobilindustrie betrug für das Jahr 2017 ca. 2,4% entsprechend einer Studie von IHS Markit. Der deutsche Verband der Automobilindustrie (VDA) bewertet das Wachstum mit ca. 2.0% auf Basis eines anderen Analysemodells [14]. Vor dem Hintergrund der anhaltenden Dieselkrise, die einen Vertrauensverlust der Kunden und hohe Mehrkosten für die Hersteller nach sich zog, sind diese Wachstumsraten insgesamt als positiv einzustufen und unterstreichen die Stärke des Gesamtmarktes. Auch wenn länderspezifische Richtlinien aktuell sehr unterschiedlich ausfallen, ist eine weitere Gesamtentwicklung in Richtung verschärfter Umweltauflagen zu erwarten. Beispielsweise für die Automobilindustrie der Europäischen Union, die im weltweiten Wettbewerb eine Spitzenposition einnimmt, werden in diesem Zuge konsequent herabgesetzte Emissionsgrenzwerte festgelegt. Seit 2009 unterliegen dabei Pkw und leichte Nutzfahrzeuge einer CO2-Regulierung, wobei das für das Jahr 2015 definierte Ziel von 130 g CO2/km auf 95 g CO2/km für 2020 herabgesetzt wurde (Pkw-Neuwagen). Derzeit wird sowohl die weitere Senkung bis 2030 ausgearbeitet, als auch eine Ausweitung der Regelungen auf Lkw diskutiert [44]. Die Bewertung wird zwar als Durchschnittswert für die gesamte Flotte eines Herstellers erhoben, dennoch ergibt sich daraus bereits eine hohe Handlungsnotwendigkeit in Richtung emissionsarmer Technologien bzw. alternativer Antriebskonzepte. VDA schätzt die hierfür getätigten Investitionen allein für die deutschen Automobilkonzerne auf ca. 40 Mrd. € bis 2020. Der technische Fortschritt im Bereich der Elektromobilität, sowie in der damit verbundenen Batterietechnologie, konnte auf dieser Basis das Interesse nahezu aller namhaften Autobauer wecken. Bis 2025 sollen deshalb bis zu 25% aller Neuwagenzulassungen in Deutschland auf Elektroautos entfallen [14].

Aus Sicht der Autoren dieses Berichts ergibt sich aus dieser umfangreichen Neuausrichtung der Automobilbranche ein sehr großes Potential für die Anwendung von CC-Werkstoffen. Das gegebene Leichtbaupotential kann vor allem für sehr definierte

Einsatzgebiete zu einer direkten Einsparung von Emissionen beitragen. Aus dem aktuellen Umbruch ergibt sich eine bisher fast schon einzigartige Einstiegschance für neue Materialklassen. Während historisch nur vergleichsweise geringe Anpassungen möglich waren, um etablierte, angrenzende Prozessschritte beibehalten zu können, müssen im Zuge der neuen Antriebskonzepte große Teile des Gesamtfahrzeugs neu konstruiert werden, inkl. eigener Material- und Prozessauswahl. Dadurch sinken die bisherigen Markteintrittsbarrieren signifikant und können von CC-Werkstoffen und zugehörigen Fertigungsprozessen leichter überwunden werden. Der sehr hohe Umfang der Umstrukturierungsmaßnahmen und die zahlreichen, elektrifizierten Modelle erstrecken sich über einen breiten Stückzahlenbereich, entsprechend auch vom Mittelklassewagen über Luxusmodelle bis hin zum elektrisch betriebenen Sportwagen. Gleichzeitig eröffnet sich hier auch eine Einstiegsmöglichkeit für eine Vielzahl von Startups und internationalen Joint-Ventures, die im bisherigen Markt nicht konkurrenzfähig zu den etablierten OEMs hätten auftreten können. Daraus erwächst ein neuer Konkurrenzdruck rund um das Innovationsfeld der Elektromobilität, welcher die Gesamtentwicklung beschleunigt. Eine höhere Variantenvielfalt ermöglicht das Ausschöpfen von Synergiepotentialen und mündet letztendlich in verbesserten technischen Lösungen.

Auf Basis dieser parallel ablaufenden Bewegungen erscheint es plausibel, dass die CC-Materialien ihren Platz in den Multi-Material-Konzepten zukünftiger Modelle an verschiedenen Stellen erfolgreich etablieren.

15 Weitere Marktentwicklung & Schlussbetrachtung

Der weltweite Gesamtmarkt für Carbonfasern und Carbon-Composites zeigt auch im aktuellen Berichtszeitraum ein stabiles Wachstum. Die mittleren Wachstumszahlen liegen aktuell zwischen ca. 10 - 12% für die Bedarfsmenge, sowie zwischen 9,5 – 12% für die erzielten Umsätze (siehe Kapitel 3.1, 4.1 und 4.2). In absoluten Zahlen beträgt der globale CF-, CFK- bzw. CC-Bedarf aktuell ca. 78,5 kt, 128 kt bzw. 154,7 kt (Schätzungen für 2018), womit ein CF-, CFK- bzw. CC-Gesamtumsatz von ca. 2,88 Mrd.US$, 16,48 Mrd.US$ bzw. 23,15 Mrd.US$ (Schätzungen für 2018) erzielt wird.

Die positiven Prognosen werden durch starke individuelle Marktindikatoren gestützt:

- Anhaltende große Investitionen, v.a. seitens der CF-Hersteller zur Erhöhung ihrer Anlagenkapazitäten und zur Erweiterung des Produkt-Portfolios
- Erhöhtes Materialverständnis und Prozess-Know-How
- Verstärkte Übernahmeaktivitäten, oft ausgehend von den CF-Herstellern, bei gleichzeitig hoher Anzahl an Startup- und Joint-Venture Gründungen
- Kooperationsbereitschaft und etablierte Zuliefererverhältnisse

Besonders die CF-Hersteller nehmen eine Schlüsselposition im derzeitigen Marktgefüge ein. Ihre horizontale Diversifikation ist bereits sehr weit fortgeschritten, sodass den einzelnen Herstellern anwendungsspezifisch optimierte Produkte zur Verfügung stehen. Die ausbalancierten Kosten/Nutzen-Verhältnisse ermöglichen dabei zahlreiche innovative Anwendungen. Im Hinblick auf die vertikale Integration sind ebenfalls bereits weitreichende Wertschöpfungsketten aufgebaut worden. Beispielsweise produziert Hexcel inzwischen PAN-Precursor ausschließlich für die eigene CF-Herstellung. Auch in der Weiterverarbeitung werden ca. 80% eigene CF (textile Halbzeuge und Prepreg) genutzt [20]. Durch die hohe Marktkonzentration und die damit einhergehenden hohen Anteile im CF-Markt, sowie zugehörige Zulieferstrukturen, besitzen sie die notwendigen Ressourcen um ihre Netzwerke effektiv zu erweitern. Durch die verlängerten Wertschöpfungsketten ergeben sich verlagerte Geschäftsmodelle, die zunehmend auch die Vertriebskanäle der akquirierten Tochterunternehmen mit einbinden. Als aktuell größtes Hindernis für die vertikale Erweiterung

werden die aufwendigen Zertifizierungsprozesse v.a. in der Luftfahrtindustrie verbunden mit langjährigen Lieferverträgen erachtet. Dadurch kommt es zu komplizierten Quer-Einkäufen der CF-Hersteller sowie nachfolgender Verarbeiter untereinander.

Die einheitliche Expansionsstrategie der Hersteller zeigt nicht nur das weiterhin starke Vertrauen in die Wachstumsbranche, sondern unterstreicht die hohe Rentabilität der aufgebauten Unternehmensgruppen, wie sich in deren Bilanzen zeigt. Auch deshalb sind die CF-Expansionen innerhalb der Unternehmensstrategie, meist in Form von eigenen Management-Projekten stark verankert. Gestützt werden die weiterhin hohen Zielerwartungen durch langfristige Zulieferverträge besonders im Bereich der Luft- und Raumfahrtindustrie, wie etwa Toray mit Boeing und SpaceX [9] oder Hexcel mit UTC Aerospace Systems [27] im Berichtszeitraum unter Beweis stellen.

Gleichzeitig vermelden die Hersteller jedoch eine besonders stark steigende Nachfrage für large-tow-Varianten (50K), insbesondere aus den Segmenten Windkraft und Automobil. Vor diesem Hintergrund stellt z.B. Vestas Wind Systems, als einer der weltweit größten Hersteller, aktuell seine Produktion auf die „next generation“ Windradblätter mit höherem CF-Anteil um und hat hierfür auch seine Zulieferverträge mit Hexcel und Dow-Aksa verlängert [29]. Allein die Übereinkunft mit Dow-Aksa beinhaltet ein Volumen von ca. 300 Mio.US$ über einen Zeitraum von vier Jahren für die Lieferung von pultrudierten CF-Verstärkungselementen (spar caps) [45]. Außerdem wird als Folge der aktuellen politischen Diskussionen (Dieselkrise, höhere Umwelt- und Lärmschutzauflagen, fortschreitende Energiewende), sowie insbesondere durch den Umbruch der Automobilindustrie in Richtung Elektromobilität eine positive Stimulation des CC-Markts erwartet [44]. Toray berichtet darüber hinaus bereits von einer beginnenden aber spürbaren Versorgungsknappheit vor allem im asiatischen Raum (explizit China und Indien) [9]. Dies ist vor dem Hintergrund der dort aktuell angekündigten Kapazitätserweiterungen seitens der Kandge Group, sowie seitens Hyosung (Economic hub of northeast asia) von besonderem Interesse, wobei die genauen Ausmaße aber noch abzuwarten sind.

Zusammenfassend ergibt sich auf Grundlage zahlreicher starker Impulse eine positive Zukunftsprognose für den Carbon Composites Markt. Die Zusammensetzung beinhaltet sowohl stabile und langfristig etablierte Einsatzgebiete, als auch eine Vielzahl innovativer Anwendungen die erst am Anfang ihrer Marktdurchsetzung stehen. Ent-

gegen einer klassischen Marktträgheit qualifizieren sich zugehörige Werkstoffvarianten zunehmend für zukünftige Multi-Material-Anwendungen.

16 Literaturverzeichnis

[1] Lucintel LLC, „Assessment of Global Carbon Fiber and Carbon Composites Market," 2015.

[2] Lucintel LLC, Growth Opportunities in Global Carbon Fibre Market: 2014-2019, Irving, USA, 2014.

[3] Acmite Market Intelligence e.K., Market Report: Global Carbon Fiber Composite Market, Ratingen, 2014.

[4] Acmite Market Intelligence e.K., Market Report: Global Carbon Fiber Composite Market, Ratingen, 2016.

[5] I. E. Inc., „Carbon fibers & carbon fibre reinforced plastics (CFRP) - A global market overview," USA, 2013.

[6] Industry Experts, „Carbon Fibers & Carbon Fiber Reinforced Plastics (CFRP) - A Global Market Overview," Industry Experts, India, 2018.

[7] V. G. Ltd., „Carbon Fibre Reinforced Plastic (CFRP) - Composites Market Report 2016-2026," UK, 2017.

[8] G. V. Research, „Composites - Market Analysis 2017," Advanced Materials - Grand View Research Inc., USA, 2018.

[9] Toray, „Annual Report 2017," Toray Group, Japan, 2018.

[10] Toray, „Production Capacity," 3 2018. [Online]. Available: https://www.toray.com/ir/management/man_010.html. [Zugriff am 15 8 2018].

[11] TechnicalTextile.net, „Zoltek - CF-Production in Hungary," 12 4 2018. [Online]. Available: https://www.technicaltextile.net/news/zoltek-to-increase-carbon-fibre-production-in-hungary-241635.html. [Zugriff am 28 10 2018].

[12] Plastics Insight, „Toray expands Zoltek capacities," 17 4 2018. [Online]. Available: https://www.plasticsinsight.com/toray-expands-production-capacity-of-large-tow-carbon-fiber-in-its-subsidiary-zoltek-companies/. [Zugriff am 28 10 2018].

[13] Composites World, „Rear wall reboot: One-stop, tow to tape to CFRP part," *Composites World Vol.4 No.6,* p. 48, June 2018.

[14] SGL Group, „Annual Report 2017," SGL Carbon SE, Germany, 2018.

[15] Mitsubishi Chemical Carbon Fiber and Composites, „KAITEKI Report 2017," Mitsubishi Chemical Holdings Corporation, Japan, 2018.

[16] Teijin Ltd., „CF Facility in South Carolina," 4 6 2018. [Online]. Available: https://www.teijin.com/news/2018/ebd180604_28.html. [Zugriff am 28 10 2018].

[17] Teijin Ltd., „New U.S. Subsidiary," 30 11 2017. [Online]. Available: https://www.teijin.com/news/2017/ebd171130_02.html. [Zugriff am 28 10 2018].

[18] Teijin, „Integrated Report 2017," Teijin Group, Japan, 2018.

[19] Hexcel Corp., „France Plant Roussillon,“ 2 10 2018. [Online]. Available: https://www.hexcel.com/News/News-Releases/2682/hexcel-officially-opens-new-plant-in-france-to-meet-growing-demand-for-advanced-c. [Zugriff am 28 10 2018].

[20] Hexcel, „Annual Report 2017,“ Hexcel Corporation, USA, 2018.

[21] Hexcel, „Hexcel Homepage - Locations,“ 2017. [Online]. Available: http://www.hexcel.com/About/Site-Locations/1454/hexcel-roussillon. [Zugriff am 06. 09. 2017].

[22] China Composite Group Corporation Ltd., „Zhongfu Shenying,“ [Online]. Available: http://www.ccgc.com.cn/en/news.php?show=detail&c_id=73&news_id=2528. [Zugriff am 28 10 2018].

[23] Plasteurope.com, „Hengshen Bombardier Supply Agreement,“ 10 10 2017. [Online]. Available: https://www.plasteurope.com/news/detail.asp?id=238040. [Zugriff am 28 10 2018].

[24] CompositesWorld, „Supply and demand: Advanced fibers (2016),“ 17. 03. 2016. [Online]. Available: http://www.compositesworld.com/articles/supply-and-demand-advanced-fibers-2016. [Zugriff am 06. 09. 2017].

[25] Reliance Industries Ltd., „Integrated Annual Report 2017-18,“ Reliance Industries Limited, India, 2018.

[26] Hexcel Corp., „Airbus Helicopter H160 Supply Agreement,“ 22 6 2017. [Online]. Available: https://www.hexcel.com/News/News-Releases/2544/airbus-helicopters-selects-hexcel-as-supplier-of-advanced-composite-materials-for. [Zugriff am 28 10 2018].

[27] Hexcel Corp., „UTC Aerospace Systems Supply Agreement,“ 30 10 2017. [Online]. Available: https://www.hexcel.com/News/News-Releases/2577/hexcel-and-utc-aerospace-systems-extend-existing-contract-through-2030. [Zugriff am 28 10 2018].

[28] The Institute for Advanced Composites Manufacturing Innovation - IACMI, „Space X,“ 12 2 2018. [Online]. Available: https://iacmi.org/2018/02/12/spacex-falcon-heavy-launch-holds-promise-for-carbon-fiber-composites/. [Zugriff am 28 10 2018].

[29] Hexcel Corp. , „Vestas Supply Agreement,“ 16 10 2017. [Online]. Available: https://www.hexcel.com/News/News-Releases/2573/hexcel-and-vestas-expand-composite-materials-supply-agreement-for-wind-blades. [Zugriff am 28 10 2018].

[30] Composites World, „Composites Market M&A,“ 26 1 2018. [Online]. Available: https://www.compositesworld.com/columns/composites-bucking-the-market-trend-in-ma. [Zugriff am 28 10 2018].

[31] Hexcel Corp., „Mubea Carbo Tech Supply Agreement,“ 4 4 2017. [Online]. Available: https://www.hexcel.com/News/News-Releases/2467/hexcel-wins-contract-to-supply-carbon-ncf-to-mubea-carbo-tech-for-new-supercar. [Zugriff am 28 10 2018].

[32] SGL Group SE, „SGL Materialportfolio,“ 23 02 2018. [Online]. Available: http://www.sglnewsroom.com/de/meldungen/meldungen-detailseite.22657.php. [Zugriff am 28 10 2018].

[33] Mitsubishi Chemical Carbon Fiber and Composites Inc., „Acquisition SGL Plant,“ 2017. [Online]. Available: http://mccfc.com/acquisition-u-s-based-sgl-carbon-fiber-manufacturing-site/. [Zugriff am 28 10 2018].

[34] Solvay, „Annual Integrated Report 2017," Solvay SA, Belgium, 2018.

[35] Solvay AG, „Strata Joint Venture," 12 11 2017. [Online]. Available: https://www.solvay.com/en/press-release/solvay-and-strata-sign-final-agreement-united-arab-emirates-first-aerospace-materials. [Zugriff am 28 10 2018].

[36] Toray Industries Inc., „Acquistion TenCate Advanced Composites," 15 03 2018. [Online]. Available: https://www.toray.com/news/pdf/nr180315.pdf. [Zugriff am 28 10 2018].

[37] Koninklijke Ten Cate B.V., „Toray Acquisition TenCate Advanced Composites," 14 03 2018. [Online]. Available: https://www.tencate.com/en/News/2018/3/14/Toray-to-acquire-TenCate-Advanced-Composites. [Zugriff am 28 10 2018].

[38] Teijin Ltd., „Acquistion of Continental Structural Plastics," 5 1 2017. [Online]. Available: https://www.teijin.com/news/2017/ebd170105_00.html. [Zugriff am 28 10 2018].

[39] Composites World, „Teijin Sereebo Process," 14 3 2016. [Online]. Available: https://www.compositesworld.com/news/teijin-sheds-more-light-on-sereebo-manufacturing-process. [Zugriff am 28 10 2018].

[40] American Fiber Manufacturers Assoc. Inc. , „Aquisitiin Gemini Composites," 9 3 2017. [Online]. Available: http://www.fibersource.com/mitsubishi-rayon-purchases-composites-design-engineering-prototyping-firm-gemini-composites/. [Zugriff am 28 10 2018].

[41] Titan FRP, „KDC "1+N" ecological model," 4 7 2018. [Online]. Available: https://frptitan.com/china-composites-exhibition-organizing-committee/. [Zugriff am 28 10 2018].

[42] Business Wire Inc. , „Hexion Kangde MoU," 6 3 2018. [Online]. Available: https://www.businesswire.com/news/home/20180305006042/en/Hexion-Signs-Memorandum-Understanding-Kangde-Composites-Ltd.. [Zugriff am 28 10 2018].

[43] Zhejiang Jonggong power technology co., LTD, „CF automotive applications," 12 4 2017. [Online]. Available: http://www.jgtec.com.cn/home.php/en/news/details/id/849. [Zugriff am 28 10 2018].

[44] Verband der Automobilindustrie e.V. VDA, „CO2-Regulierung bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen," 2018. [Online]. Available: https://www.vda.de/de/themen/umwelt-und-klima/co2-regulierung-bei-pkw-und-leichten-nfz/co2-regulierung-bei-pkw-und-leichten-nutzfahrzeugen.html. [Zugriff am 28 10 2018].

[45] Dow Aksa Advanced Composites Holdings BV, „Vestas Supply Agreement," 7 6 2017. [Online]. Available: http://www.dowaksa.com/vestas-selects-dowaksa-to-support-rapid-global-growth-of-wind-energy/. [Zugriff am 28 10 2018].

[46] Jeffrey J. Cook, Samuel Booth; National Renewable Energy Laboratory, „Carbon Fiber Manufacturing Facility Siting and Policy Condiderations: International Comparison," CEMAC - Clean Energy Manufacturing Analysis Center, USA, 2017.

[47] Sujit Das, Josh Warren, Devin West: Energy and Transportation Science Division - Oak Ridge National Laboratory; Susan M Schexnayder, The University of Tennessee, Knoxville, „Global Carbon Fiber Composites Supply Chain Comptetitiveness Analysis," CEMAC - Clean Energy Manufacturing Analysis Center, USA, 2016.

[48] Formosa Plastics, „EHS Annual Report 2017," Formosa Plastics Corporation, USA, 2018.

[49] Formosa Plastics Group, „Annual Report & Shareholder Services,“ [Online]. Available: http://www2.fpg.com.tw/html/eng/annu.asp. [Zugriff am 28 10 2018].

[50] Formosa Plastics Corp., „Formosa Plastics Corporations and Subsuduaries - Consolidated Financial Statements,“ 7 8 2018. [Online]. Available: http://www.fpc.com.tw/fpcwuploads/files/2018Q2-Financial%20Statement.pdf. [Zugriff am 28 10 2018].