



## Nachhaltigkeit von Faserverbundkunststoffen Betrachtung anhand ausgewählter Anwendungsbeispiele

---

Veröffentlicht durch den Arbeitskreis „Nachhaltigkeit“ der  
AVK - Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe e. V.



Frankfurt am Main, November 2010

1. Einleitung.....	- 3 -
2. Hintergründe.....	- 4 -
2.1 Faserverbundkunststoffe (FVK).....	- 4 -
2.2 Zahlen und Fakten.....	- 5 -
2.3 Anwendungsbereiche von FVK .....	- 6 -
2.4 Vorteile von FVK.....	- 8 -
3. Nachhaltigkeit .....	- 9 -
4. Beispiele aus der Praxis .....	- 11 -
4.1 FVK in Windkraftanlagen.....	- 12 -
4.2 FVK in der Infrastruktur .....	- 15 -
4.3 FVK im Automobilbereich .....	- 17 -
4.4 FVK in der Luftfahrt .....	- 21 -
5. Zusammenfassung/Ausblick.....	- 22 -

## Abkürzungen

BMC	-	Bulk Moulding Compound
CFK	-	Carbonfaserverstärkter Kunststoff
FVW	-	Faserverbundwerkstoff
FVK	-	Faserverbundkunststoff
GFK	-	Glasfaserverstärkter Kunststoff
RTM	-	Verarbeitungsverfahren (Resin Transfer Moulding)
SMC	-	Sheet Moulding Compound
WEA	-	Windenergieanlage

# 1. Einleitung

Kunststoffe haben in den vergangenen 50 Jahren Einzug in viele Lebensbereiche gefunden. Hierzu zählen nicht nur der Verpackungsmarkt mit der klassischen Plastiktüte, sondern beispielsweise auch der Baubereich, das Transportwesen und der Freizeitbereich.

Die moderne Medizin wäre ohne Kunststoffe ebenso undenkbar wie die moderne Luftfahrt oder der Rennsport. Unser Alltagsleben ließe sich ohne Kunststoffe in der gewohnten Art und Weise nicht bewältigen.

Dennoch haftet dem Werkstoff „Plastik“, besser ausgedrückt dem Kunststoff, in der heutigen Gesellschaft manchmal ein - wenn nicht negativer - so aber doch abwertender Beigeschmack an.

„Das ist doch eh alles Plastik“ – solche oder ähnliche Aussagen hat fast jeder Mensch bereits gehört.

Was genau sind eigentlich Kunststoffe? Wegwerfartikel, die bei unsachgemäßer Entsorgung lediglich die Umwelt schädigen? Gerade in den vergangenen Monaten wurde viel - darunter auch Negatives - zum Thema Kunststoffe veröffentlicht. Dies ist nicht generell zu verurteilen, denn es gibt, wie bei allen anderen Werkstoffen auch, negative Aspekte beim Kunststoff.

Daneben birgt der Werkstoff aber auch eine enorme Fülle von Möglichkeiten und Vorteilen.

Nur schwarz oder weiß beziehungsweise nur gut oder schlecht gibt es in den meisten Fällen nicht. Auch nicht bei Kunststoffen.

Die AVK - Industrievereinigung Verstärkte Kunststoffe vertritt ein Spezialsegment im Bereich der Kunststoffe, die Faserverbundkunststoffe. Diese werden, oftmals unerkannt, aufgrund Ihrer Eigenschaften in vielen Bereichen des alltäglichen Lebens verwendet. Es handelt sich um außergewöhnliche Werkstoffe, die bezüglich der Anwendungen enorme Möglichkeiten bieten und hiermit verbunden auch zur Ressourcenschonung und damit zum Thema „Nachhaltigkeit“ einen hohen Beitrag leisten können. Um dieses Thema geht es in diesem Bericht.

An dieser Stelle sei noch darauf hingewiesen, dass die folgende Betrachtung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt, sondern als grundlegende Information verstanden werden soll. Für Rückfragen steht Ihnen die AVK gerne zur Verfügung.

Viel Spaß in der Welt der Verstärkten Kunststoffe!

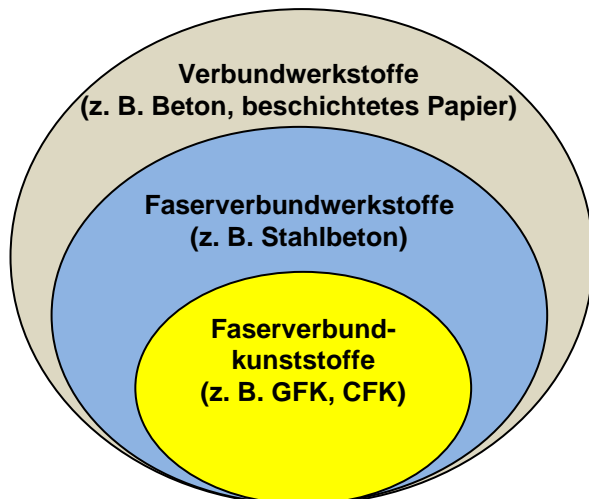
## 2. Hintergründe

Das folgende Kapitel liefert einen groben Überblick über den Markt der Faserverbundkunststoffe. Zunächst erfolgt eine kurze definitorische und werkstoffseitige Abgrenzung. Anschließend werden kurz die derzeitigen Anwendungsfelder sowie die aktuellen Produktionsmengen dargestellt. Das Kapitel schließt mit einer Betrachtung der grundlegenden Vorteile von Faserverbundkunststoffen.

Für detailliertere Informationen zu einzelnen Themenkomplexen wenden Sie sich bitte an die angegebene Kontaktadresse.

### 2.1 Faserverbundkunststoffe (FVK)

Die Faserverbundkunststoffe (FVK) sind der Obergruppe der Verbundwerkstoffe und innerhalb dieser den Faserverbundwerkstoffen (FVW) zuzurechnen.



Verbundwerkstoffe zeichnen sich dadurch aus, dass zwei oder mehr Werkstoffe kombiniert werden, um so einen Werkstoff mit verbesserten Eigenschaften zu erhalten.

Als Beispiele lassen sich Beton, beschichtetes Papier oder Holzlamine anführen.

Das kennzeichnende Element von Faserverbundwerkstoffen (FVW) sind die Fasern. Diese werden in eine Matrix, gleich welcher Art, eingebettet beziehungsweise sind von dieser umschlossen. Durch bestimmte Faser-Matrix-Kombinationen lassen sich so Werkstoffe mit ganz unterschiedlichen Eigenschaften herstellen. Zu dieser Untergruppe gehören auch die Faserverbundkunststoffe. Kennzeichnend ist in diesem Fall, dass die Matrix aus Kunststoff besteht. Sowohl Faser als auch Matrix können aus unterschiedlichen Produkten bestehen. Über die Art der Verstärkungsfasern, den Fasergehalt und die Faserorientierung lässt sich enormer Einfluss auf das spätere Bauteil nehmen.

Zu den verschiedenen Kombinationen lassen sich zusätzlich weitere Elemente hinzufügen. Dies sind z. B. Füllstoffe, die das Gewicht bei spezifischer Bauteildimension weiter reduzieren, oder chemische Additive, die beispielsweise die Brennbarkeit der Werkstoffe beziehungsweise der späteren Anwendung herabsetzen.

Faserverstärkte Kunststoffe werden hauptsächlich in technischen Anwendungen verwendet. In kurzlebigen Konsumgütern finden Sie im Allgemeinen keine Verwendung. Das erklärt auch, weshalb die gesamte Verarbeitungsmenge eher gering ist und sie der breiten Öffentlichkeit weniger bekannt sind.

Dennoch nutzen die meisten Menschen die FVK jeden Tag. Fahren Sie beispielsweise morgens mit dem Auto oder dem Zug zur Arbeit? Dann haben auch Sie schon von FVK und deren Vorteilen profitiert.

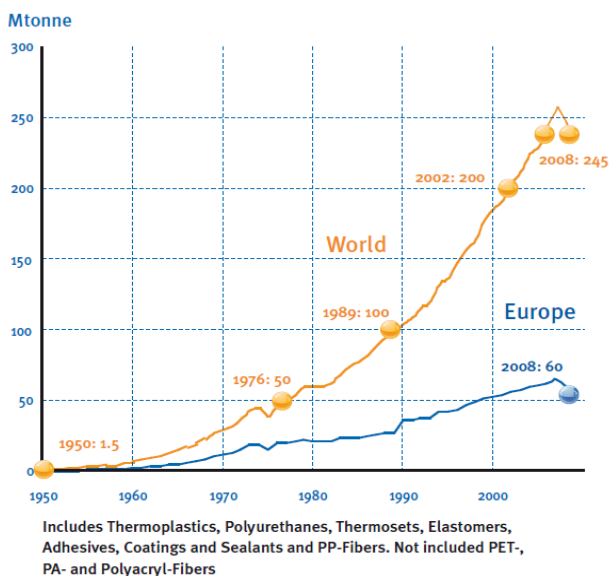
Im folgenden Kapitel werden die Produktionsmengen und vor allem die wirtschaftliche Bedeutung von Kunststoffen anhand einiger Zahlen und Fakten belegt.

## 2.2 Zahlen und Fakten

Die Verstärkten Kunststoffe sind Teil der gesamten Kunststoffindustrie und bilden innerhalb dieser Branche ein Spezialsegment.

Indirekt ist bereits in der Einführung auf die starke Zunahme des Kunststoffverbrauches in den letzten Jahren und Jahrzehnten hingewiesen worden.

Im Jahr 2008 wurden weltweit etwa 245 Millionen Tonnen Kunststoff verarbeitet. Noch im Jahr 1950 waren es lediglich 1,5 Millionen Tonnen. Damit verzeichnet dieser Industriesektor in den letzten Jahrzehnten ganz klar ein überdurchschnittliches Wachstum gegenüber anderen Werkstoffen wie etwa Stahl oder Papier.



Quelle: [www.plasticseurope.com](http://www.plasticseurope.com)

Um eine bessere Vorstellung zu erhalten, welchen Einfluss Kunststoffe auf die Wirtschaft haben, lassen sich die folgenden Indikatoren für die deutsche Kunststoffindustrie (Kunststoffmaschinenbau, Kunststoffverarbeitung und Kunststoffherzeugung) aufzählen:

- Im Jahr 2008 waren in der deutschen Kunststoffindustrie 3371 Unternehmen tätig
- Dabei waren über 393.000 Personen in der genannten Branche beschäftigt
- Der Gesamtumsatz lag bei über 84 Milliarden Euro
- Damit trug die Kunststoffindustrie ungefähr 6% zum Umsatz der gesamten Industrieproduktion Deutschlands bei

Die Produktionsmenge an Kunststoffen, die in Anwendungen in das Segment der Faserverbundkunststoffe fließt, bildet nur einen kleinen Teil der gesamten Kunststoffproduktion. Weltweit beträgt deren Anteil „nur“ etwa 3%. Diese, gemessen am gesamten Produktionsvolumen der Kunststoffindustrie, relativ geringe Menge ist mit den besonderen Anwendungen erklärbar.

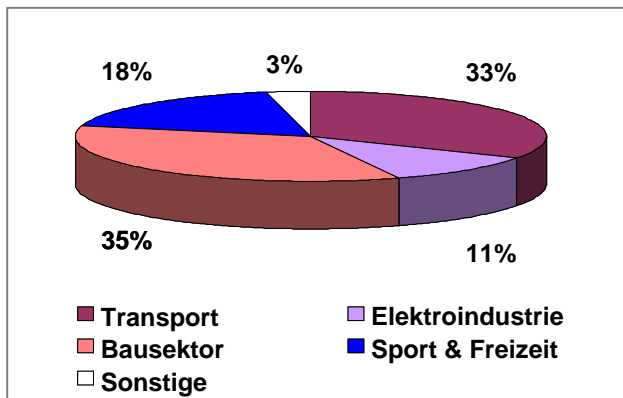
FVK werden, wie bereits angedeutet, weniger im Konsumbereich wie etwa Verpackungen eingesetzt, sondern finden eher im industriellen Bereich Anwendung. Dies kann beispielsweise die Produktion von Teilen der Automobilindustrie oder der Windkraftbereich sein. Die Massenbeziehungsweise Großserienproduktion ist in den wenigsten Fällen üblich. Die Gesamtproduktionsmenge ist dementsprechend relativ niedrig. Dass FVK unabhängig von der reinen Quantität dennoch Ihre „Berechtigung“ haben und spezielle Produkte ohne deren Einsatz gar nicht möglich beziehungsweise Weiterentwicklungen im technischen Bereich undenkbar wären, wird der folgende Text im weiteren Verlauf noch ausführlich begründen.

Detailliertes Zahlenmaterial zu Produktionsmengen und Anwendungsbereichen von Faserverstärkten Kunststoffen finden Sie im aktuellen Marktbericht der AVK zum Download unter: [www.avk-tv.de](http://www.avk-tv.de)

## 2.3 Anwendungsbereiche von FVK

Durch unterschiedliche Kombinationsmöglichkeiten von Rohstoffen bei der Erzeugung und Verarbeitung von FVK sowie verschiedenen Herstellungsmethoden eröffnen sich vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für Faserverbundkunststoffe.

Die folgende Abbildung zeigt diese prozentual anhand verschiedener Anwendungsindustrien:

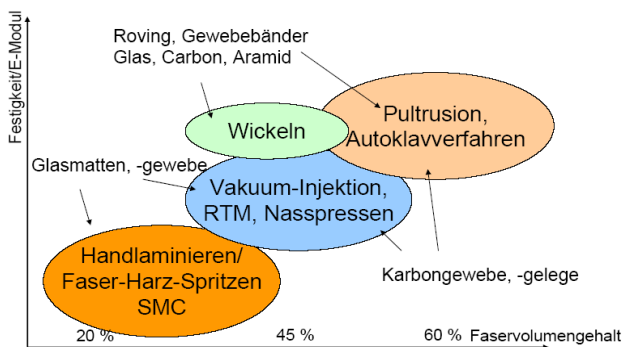


Quelle: AVK-Marktbericht

Die Produktvielfalt ist innerhalb dieser Bereiche sehr hoch und reicht von der Fertigung großer Stückzahlen im Automobilbereich über Großbauteile wie etwa Bootsrümpfe bis hin zu Kleinteilen im Elektronikbereich.

Einen entscheidenden Einfluss auf die späteren Einsatzgebiete und die Werkstoffeigenschaften haben die Herstellungsverfahren.

Diese ermöglichen beispielsweise sehr unterschiedliche Fasergehalte, die sich wiederum direkt auf die Bauteileigenschaften auswirken.



Quelle: IMA Dresden

Wie in der vorangegangenen Abbildung gezeigt, lässt sich über den Fasergehalt eines Bauteils direkter Einfluss auf die Festigkeit beziehungsweise den Elastizitätsmodul eines Bauteiles nehmen (die angegebenen Fasergehalte sind Näherungswerte).

Welche Produkte lassen sich nun konkret aus FVK herstellen und welche Herstellungsverfahren sind für welche Produkte typisch? Im Folgenden sind einige Beispiele anhand der verwendeten Produktionsverfahren dargestellt:

### ■ Handlaminiert & Faserspritzen – Diese



Verfahren werden den offenen Verfahren zugeordnet. Die Herstellung von Bauteilen erfolgt in Handarbeit. Die Anwendungsbereiche und Endprodukte sind somit eher Einzelanfertigungen mit geringen Stückzahlen. Der Fasergehalt ist überwiegend recht gering und liegt in der Regel bei etwa 20-40%.

Die Anwendungsbereiche und Endprodukte sind somit eher Einzelanfertigungen mit geringen Stückzahlen. Der Fasergehalt ist überwiegend recht gering und liegt in der Regel bei etwa 20-40%.

### ■ Injektionsverfahren (RTM, Vakuuminjektion, Druckinjektion, Spritzgießen, Spritzpressen (BMC) – die



in diesen teilautomatisierten Verfahren

hergestellten Bauteile reichen von Kleinbauteilen bis hin zu Windkraftflügeln. Die Produktionsmenge ist hier in aller Regel deutlich höher, erreicht aber meist noch nicht die Stückzahlen einer kontinuierlichen Großserienfertigung, was bei den überwiegend gefertigten Bauteilen aber auch nicht angestrebt wird. Der Fasergehalt der späteren Bauteile liegt meist im mittleren Bereich (ca. 30-50%).

- **Pressen** (Nass-, Kalt-, Warmpressen, SMC, Organobleche etc...) – Durch die Verwendungsmöglichkeit von Halbzeugen, die beispielsweise als Masse, Platte oder Vorformling in die Pressen eingebracht werden, lassen sich mit Hilfe dieser Verfahren sehr hohe Stückzahlen erzeugen. Anwendungen zum Beispiel in der Serienfertigung der Automobilindustrie arbeiten stets mit vollautomatischen Pressen. Der Fasergehalt ist hier sehr weit gestreut, lässt sich aber eher im mittleren Bereich ansiedeln.



Durch die Verwendungsmöglichkeit von Halbzeugen, die beispielsweise als Masse, Platte oder Vorformling in die Pressen eingebracht werden, lassen sich mit Hilfe dieser Verfahren sehr hohe Stückzahlen erzeugen. Anwendungen zum Beispiel in der Serienfertigung der Automobilindustrie arbeiten stets mit vollautomatischen Pressen. Der Fasergehalt ist hier sehr weit gestreut, lässt sich aber eher im mittleren Bereich ansiedeln.

- **Wickelverfahren/Schleuderverfahren** – Mit Hilfe dieser Verfahren werden vornehmlich Produkte mit spezifischen Eigenschaften an Form oder Belastung hergestellt. Dies sind beim Schleuderverfahren zum Beispiel Silos mit großem Durchmesser oder beim Wickeln Druckbehälter für den Automobilsektor sowie Rohre für die chemische Industrie. Die Fasergehalte liegen üblicherweise im mittleren Bereich.



Mit Hilfe dieser Verfahren werden vornehmlich Produkte mit spezifischen Eigenschaften an Form oder Belastung hergestellt. Dies sind beim Schleuderverfahren zum Beispiel Silos mit großem Durchmesser oder beim Wickeln Druckbehälter für den Automobilsektor sowie Rohre für die chemische Industrie. Die Fasergehalte liegen üblicherweise im mittleren Bereich.

- **Pultrusion / Autoklavverfahren** –



Das Pultrusions- oder auch Strangziehverfahren ist ein sogenanntes Endlosverfahren. In diesem werden Profile jeglicher Art hergestellt. Dabei wird die Faser mit hoher Kraft durch ein formgebendes Werkzeug gezogen.

Diesem werden Profile jeglicher Art hergestellt. Dabei wird die Faser mit hoher Kraft durch ein formgebendes Werkzeug gezogen.

Das Pultrusions- und das Autoklavverfahren, bei dem mit hohem Druck gearbeitet wird, sind die Verfahren, bei denen sich die höchsten Fasergehalte (theoretisch bis zu über 80%) realisieren lassen.

Mit Hilfe der genannten Verfahren lässt sich ein sehr breites Produktspektrum realisieren, wie die weiteren Ausführungen in diesem Bericht zusätzlich zeigen werden.

Faserverbundkunststoffe weisen dabei je nach Anwendungen spezifische Vorteile im Vergleich zu anderen Werkstoffen auf, wie das nächste Kapitel zeigt.



## 2.4 Vorteile von FVK

Viele der dargestellten Anwendungen greifen bewusst auf spezifische, für den jeweiligen Anwendungsfall positive Eigenschaften von FVK zurück. Diese lassen sich in verschiedenem Maß durch den Fasergehalt oder die Herstellungsmethode beeinflussen. Je nach Anforderung zeigen sich enorme Vorteile gegenüber Wettbewerbs-Werkstoffen, wie z. B. Stahl, Aluminium, Beton oder Holz:

- **Leichtigkeit** – FVK sind im Gegensatz zu anderen Werkstoffen sehr leicht. Bei gleicher Bauteilstärke kann ein hohes Maß an Gewicht eingespart werden. Andererseits können Bauteile bei gleichem Gewicht deutlich dicker gebaut werden.
- **Installationskosten** (inklusive Transport) – Aufgrund der Gewichtseinsparung wird der Transport vor allem großer Bauteile enorm vereinfacht. Andere Gegenstände können beispielsweise ohne technische Hilfsmittel manuell bewegt werden.
- **Gute Korrosionseigenschaften** – FVK rosten nicht. Dies spielt z. B. bei Anwendungen im maritimen Bereich, etwa bei Gitterrosten auf Bohrseln, oder bei witterungsanfälligen Anwendungen eine entscheidende Rolle.
- **Gute Medienbeständigkeit** – FVK können aufgrund ihrer Resistenz gegenüber einer Vielzahl von Stoffen z. B. im Rohrleitungsbau in der chemischen Industrie sehr gut eingesetzt werden.
- **Hitzeresistenz** – Verstärkte Kunststoffe und hier speziell die Duroplaste bilden im Herstellungsprozess feste Gitter, die auch mit hohen Temperaturen nicht mehr zerstört oder aufge-

löst werden können. Sie bleiben auch bei extrem hohen Temperaturen stabil. Neben diesen Eigenschaften besteht beispielsweise die Möglichkeit, FVK in Form von Additiven zusätzliche Brandhemmer hinzuzufügen.

- **Haltbarkeit / Langlebigkeit / Wartung** – FVK werden beispielsweise im Brücken- oder Hochbau eingesetzt. Dies liegt daran, dass sie witterungsbeständig sind und auch beispielsweise durch Streusalz nicht oder nur in sehr geringem Umfang „angegriffen“ werden. Aufwändige Wartungsarbeiten wie z. B. bei Stahl entfallen weitgehend.
- **Designfreiheit** – Mit Hilfe entsprechender Verarbeitungsverfahren lassen sich auch komplexe Bauteilgeometrie oder relativ große Bauteile (z. B. Unterbodenelemente im Automobilbau oder Aufbautermin) „in einem Schuss“ beziehungsweise in einem Stück fertigen.
- **Spezifische mechanische Eigenschaften** – Je nach Art oder Menge der Faserbeimischung lassen sich die spezifischen Eigenschaften der fertigen Produkte (z. B. Steifigkeit oder Festigkeit) den Bedürfnissen der Anwendung entsprechend beeinflussen.

Neben den hier genannten positiven Eigenschaften gibt es noch viele weitere, die aber an dieser Stelle nicht alle im Detail aufgeführt werden sollen.

Generell lässt sich festhalten, dass FVK in einigen Fällen Vorteile gegenüber anderen Werkstoffen wie z. B. Stahl oder Aluminium haben, viele Unternehmen diese Vorteile aber noch nicht in vollem Umfang kennen und nutzen.



Häufig fehlt das notwendige Wissen über den Werkstoff, oder die entsprechenden Maschinen in den Unternehmen sind auf metallische Werkstoffe ausgelegt.

Auch wenn FVK nicht das generell „bessere“ Material sind, so lohnte es sich doch für viele Unternehmen, sich auch in Bezug auf Produktions- und Herstellungskosten intensiver mit dem Thema auseinanderzusetzen.

### 3. Nachhaltigkeit

Nachhaltigkeit beziehungsweise nachhaltige Entwicklung sind Schlagwörter, die bereits lange in Fachkreisen existieren, die jedoch erst in den vergangenen Jahren und im Zuge der politischen Diskussion rund um das Thema Klimawandel verstärkt in den Fokus der Öffentlichkeit getreten sind.

Im Zuge der öffentlichen Debatte haben sich verschiedene Begriffe, Definitionen und Bezeichnungen in der öffentlichen Wahrnehmung etabliert, die teilweise aber eher zur Verwirrung als zur Klärung beitragen.

Um bereits an dieser Stelle eine klare Position zu beziehen und eventuellem Missverständnis entgegen zu treten, wird im Folgenden unsere Sichtweise des Begriffs „Nachhaltigkeit“ dargestellt.

Der von der deutschen Bundesregierung berufene Rat für Nachhaltige Entwicklung fasst die Grundidee von nachhaltiger Entwicklung folgendermaßen zusammen:



**„Nachhaltige Entwicklung heißt, Umweltgesichtspunkte gleichberechtigt mit sozialen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu berücksichtigen. Zukunftsfähig wirtschaften bedeutet also: Wir müssen unseren Kindern und Enkelkindern ein intaktes ökologisches, soziales und ökonomisches Gefüge hinterlassen. Das eine ist ohne das andere nicht zu haben.“**

Nachhaltigkeit in dieser Definition berührt somit voneinander abhängende Handlungsfelder, die jedoch mit konkreten Inhalten gefüllt werden müssen. Generell stimmen wir dieser Betrachtungsweise zu, die neben den ökologischen auch weitere Faktoren berücksichtigt.

Wie aber lassen sich die genannten Grundforderungen in einem Industrieprodukt konkret erfüllen?

Hierzu haben wir einige Forderungen zusammengestellt, die bei jedem Herstellungsprozess und speziell hinsichtlich der Verwendung von FVK-Bauteilen berücksichtigt werden müssen.

- Ein Produkt sollte möglichst effektiv und effizient hergestellt werden. Das bedeutet, man sollte zum einen den Werkstoff verwenden, der am besten in der Lage ist, die geforderten Eigenschaften des Produktes zu erfüllen. Zum anderen sollte dies stets unter Beachtung betriebs- und volkswirtschaftlicher Aspekte geschehen.
- Die eingesetzten Rohstoffe müssen unter Schonung der Umwelt und unter Beachtung der Menschenrechte gefördert beziehungsweise hergestellt werden.
- Im Herstellungsprozess sind personelle oder materielle Schäden durch Emissionen oder Herstellungstechniken in jedem Fall zu verhindern beziehungsweise das Risiko ist zu minimieren.
- Das Produkt muss in der Herstellung möglichst Ressourcen-schonend sein. Die eingesetzten Ressourcen müssen also bestmöglich genutzt werden.
- Idealerweise sollte ein Produkt in seinem gesamten Lebenszyklus die zur Herstellung eingesetzte Energie wieder „erwirtschaften“. Ist das nicht möglich, sollte die Alternative gewählt werden, die das möglichst geringste Energiesaldo aufweist.
- Wird ein Produkt seinem eigentlichen Bestimmungszweck entzogen oder kann es nicht weiter für seinen eigentlichen Zweck verwendet werden, muss es entsprechende alternative Nutzungskonzepte, Verwertungs- oder Recyclingmethoden geben.

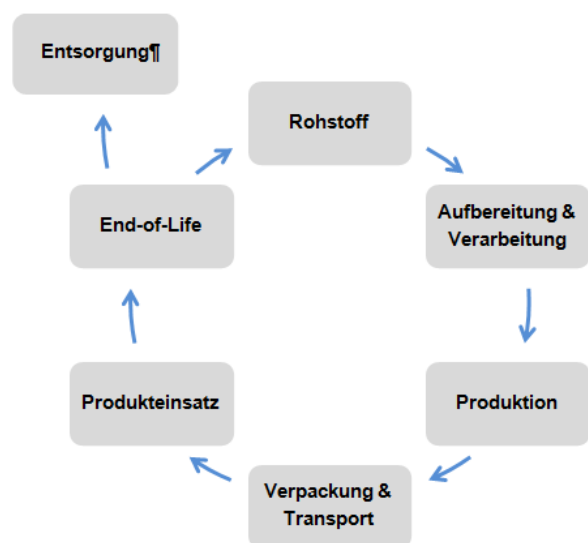
- Über den gesamten Lebenszyklus müssen schädliche Umweltemissionen im Produktionsprozess auf ein Minimum beschränkt werden.

Diesem beschriebenen Verständnis nach würde eine Produktbewertung also zu kurz greifen, wenn nur Einzelaspekte, wie zum Beispiel die Entsorgung, berücksichtigt würden. Die AVK und ihre Mitglieder fühlen sich diesem Grundsatz verpflichtet und entwickeln entsprechende Ansätze für die FVK-Branche aktiv weiter.

Nachhaltigkeit, wie sie in dieser Broschüre verstanden wird, berücksichtigt alle genannten Punkte und ist eng mit der so genannten Ökobilanz von Produkten verbunden.

Diese stellt eine systematische Analyse der Umweltwirkungen von Produkten oder den mit ihrer Unterstützung durchgeführten Dienstleistungen während des gesamten Lebensweges dar. Hierzu gehören Umweltwirkungen während der Produktion, der Nutzungsphase und der Entsorgung des Produktes.

Grafisch lassen sich die verschiedenen „Lebensphasen“ eines Produktes wie folgt darstellen.



Die hier gewählte Darstellung verschiedener Stufen entspricht einer so genannten LCA (Life-Cycle-Analyse), also der Bewertung der möglichen Auswirkungen eines Produktes, eines Verfahrens oder einer Tätigkeit auf die Umwelt im Verlauf seiner gesamten Lebenszeit (Life Cycle). Die Verwendung bestimmter Ressourcen wird hierbei quantitativ bemessen. Dies bedeutet, dass z. B. sowohl die "Inputs", wie etwa Energie, Rohstoffe, Wasser als auch die Emissionen in die Umwelt ("Outputs" in die Luft, ins Wasser und den Boden) beurteilt werden, die mit dem untersuchten System in Verbindung stehen.

**„Versöhnung von Ökonomie und Ökologie bedeutet, dass der Schornstein raucht, aber nicht qualmt.“**

(Peter Gillies (\*1939), bis 1995 Chefredakteur "Die Welt")

An dieser Stelle möchten wir interessierte Unternehmen ausdrücklich auf die Möglichkeit zur Mitarbeit hinweisen. Die Kunststoffbranche generell als auch das hier behandelte Segment der FVK wird zukünftig in der Verpflichtung stehen, entsprechende Konzepte zu entwickeln.

Auch die Beteiligung Ihres Unternehmens kann einen wichtigen Beitrag leisten ([www.avk.tv.de](http://www.avk.tv.de))!

Im folgenden Kapitel werden einige konkrete Anwendungen, den genannten Grundlagen folgend, hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeit betrachtet.

## 4. Beispiele aus der Praxis

Im folgenden Kapitel werden vier Bereiche beziehungsweise Anwendungen ausgewählt, anhand derer der praktische Nutzen und die Vorteile der Verwendung von Glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) im Hinblick auf seine Verwendung und dabei speziell auch die Nachhaltigkeit dargestellt werden sollen.

Die Auswahl erfolgte nicht zufällig, sondern berücksichtigt einige Tatsachen:

Es handelt sich um Anwendungen, die einer breiten Öffentlichkeit bekannt sind und bei denen die Verwendung von FVK gut dokumentiert ist. Daneben sind in diesen Fällen ausreichend Studien und Stellungnahmen vorhanden, um einen schlüssigen Nachweis für das Dargestellte erbringen zu können. Die Aussagen in den jeweiligen Kapiteln ergänzen sich. Um die Lesbarkeit zu verbessern, wurde bewusst versucht, auf Redundanzen zu verzichten, auch wenn dies nicht in allen Fällen möglich ist.

Aber auch an dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Ausführungen in keiner Weise Anspruch auf Vollständigkeit erheben.

Für tiefer gehende Rückfragen zu einzelnen Anwendungen stehen wir Ihnen gerne unter der angegebenen Kontaktadresse zur Verfügung.

## 4.1 FVK in Windkraftanlagen

Eine der wohl bekanntesten, wenn auch nicht immer als solche wahrgenommene, Anwendungen von großen GFK-Bauteilen sind Windenergieanlagen. Diese sind schon alleine wegen ihrer Größe auffällig und sind in den vergangenen Jahren aufgrund der Debatte um regenerative Energien verstärkt in den Fokus der Öffentlichkeit gelangt.

Bei den heutigen Windenergieanlagen bestehen häufig sowohl die Gondel als auch die Rotorblätter, zumindest zu großen Teilen, aus GFK oder CFK.

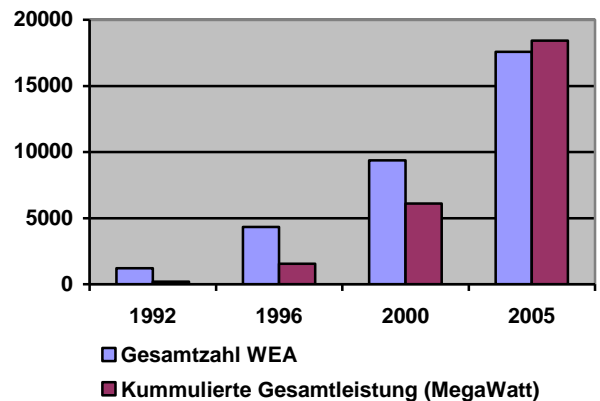


Quelle: AVK-Seminarunterlagen

Bei der Anwendung in diesem Bereich zeigt sich sehr anschaulich das enorme Wachstumspotential der FVK-Branche.

Waren im Jahr 1990 in Deutschland etwa 400 Anlagen installiert, so stieg diese Zahl bis 2009 auf über 21.000 Anlagen an.

Auch die mit diesen Anlagen installierte Gesamtleistung nahm deutlich zu, wie die folgende Abbildung zeigt.



Quelle: [www.wind-energie.de](http://www.wind-energie.de)

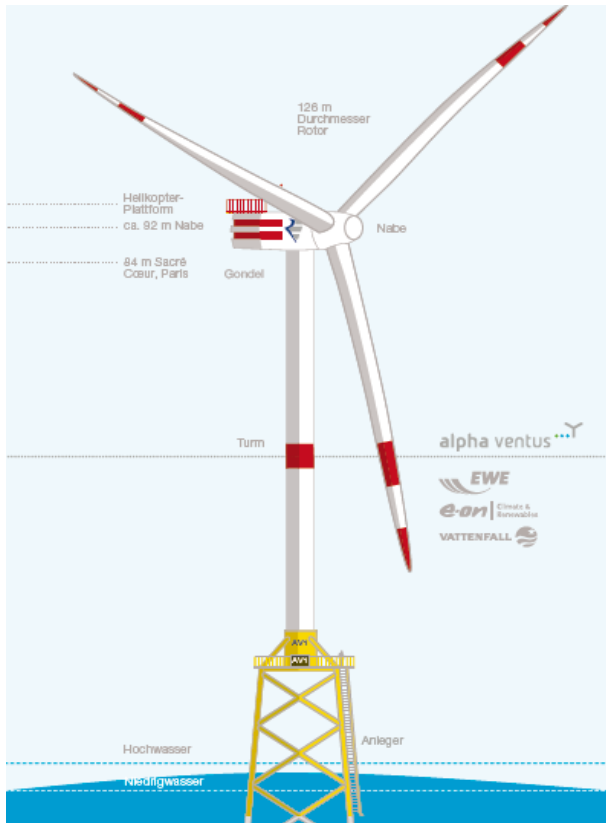
Dies war nur durch einen Anstieg der Größe der Anlagen möglich. Diese nahm in den vergangenen Jahren eklatant zu.

Ein durchschnittliches Windrad hatte um 1980 beispielsweise eine Nabenhöhe von 30 Meter und einen Rotordurchmesser von 15 Meter. Der Jahresenergieertrag dieser Anlagen lag bei etwa 35.000 kWh.

Vergleichszahlen für 1995 zeigen eine Nabenhöhe von 78 Meter und einen Rotordurchmesser von 46 Meter. Die Leistung bei einem solchen Windkraftrad lag bei etwa 3.500.000 kWh (3,5 MW).

Moderne Anlagen übertreffen diese Leistung deutlich. Im Frühjahr 2010 wurde mit „alpha ventus“ der erste große Offshore-Windpark vor Deutschlands Küste eingeweiht.

Die dort eingesetzten Anlagen haben eine Nabenhöhe von etwa 92 Meter und einen Rotordurchmesser von 126 Meter.



Quelle: [www.alpha-ventus.de](http://www.alpha-ventus.de)

Insgesamt erreichen diese Anlagen mit einer Blattspitze von 155 Meter fast die Höhe des Kölner Doms (157 Meter). Die Leistung pro Anlage liegt bei etwa 5 MW.

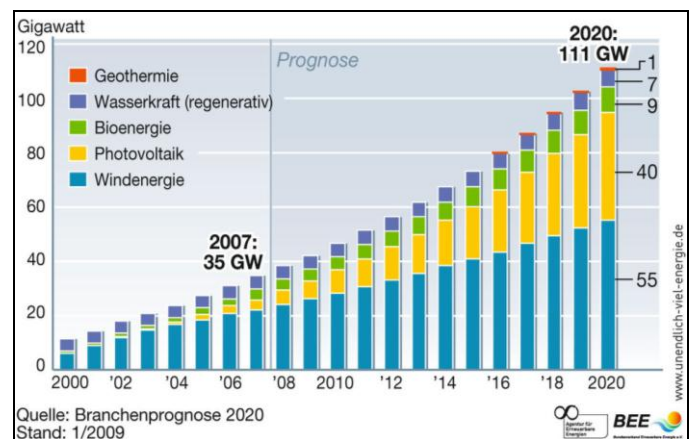
Gerade aufgrund dieser enormen Größe und der hohen Anforderungen zeigen sich die Vorteile des verstärkten Kunststoffes.

Durch die entsprechenden Verarbeitungsverfahren und die Möglichkeit der individuellen Formgebung lassen sie sich in aerodynamisch optimaler Hinsicht fertigen. Aufwendige Nacharbeit entfällt.

Das Gewicht spielt daneben ebenfalls eine enorme Rolle. Würden Rotorblätter etwa aus Stahl gefertigt, würde sich ein enorm hohes Gewicht ergeben, was nicht nur den Transport und die Montage deutlich erschweren würde, sondern auch insbesondere aufgrund der Dauerbelastung im Betrieb zu weiteren Problemen führen würde.

Daneben lassen sich in Rotorblättern aus GFK/CFK beispielsweise direkt Blitzableiter oder Heizungssysteme gegen Eisbildung integrieren. Die Belastungen innerhalb des Bauteils lassen sich durch eine entsprechende Faserorientierung ebenfalls sehr gut kontrollieren und optimal ableiten.

Der besondere Wachstumstrend bei Windenergieanlagen als Lieferant von regenerativer Energie wird auch weiterhin anhalten, wie die folgende Abbildung verdeutlicht.



Quelle: <http://www.wind-energie.de/de/materialien/fohlen-sammlung/>

Das Wachstum im Bereich der Windenergieanlagen wird zukünftig hauptsächlich im Offshore-Bereich stattfinden. Mit diesem Trend wird voraussichtlich auch die Anlagengröße noch weiter zunehmen. Anlagen mit Leistungen zwischen 8 & 10 MW und darüber hinaus sind zu erwarten. Die Installation von Anlagen auf hoher See führt selbstverständlich dazu, dass die Werkstoffe einer dauerhaften witterungsbedingten Belastung ausgesetzt sind.

Hier zeigt sich ein weiterer enormer Vorteil bei der Verwendung von FVK gegenüber anderen Materialien. Aufgrund der hervorragenden Korrosionseigenschaften werden aufwendige Wartungsarbeiten in diesem Bereich deutlich verringert.

Im Hinblick auf das Ziel der Bundesregierung, bis zum Jahr 2020 den Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromversorgung auf 25 bis 30 Prozent zu erhöhen, wird die Windenergie ein enorm wichtiger Faktor werden.

Über politisch und ideologisch geprägte Aspekte hinaus spielt die Windenergie aber auch in volkswirtschaftlicher Hinsicht eine enorme Rolle (Bundesverband Windenergie e. V.):

- 2007 waren über 84.000 Personen in der Windenergiebranche direkt oder indirekt beschäftigt. Im Jahr 2020 soll diese Zahl auf 112.000 steigen
- Die Gesamtbranche erwirtschaftete dabei einen Gesamtumsatz von über 9 Milliarden Euro. Der für die Gesamtwirtschaft positive Effekt dieser jungen Branche ist somit ebenfalls unstrittig

Als wichtigste Frage bleibt nun noch zu klären, inwiefern die Windenergie beziehungsweise die Windenergieanlagen und mit Ihnen die Verwendung von GFK-Bauteilen in großem Maßstab neben wirtschaftlichen Aspekten auch in ökologischer Hinsicht - und damit energetisch - positive Aspekte aufweisen.

Der wohl bedeutendste Faktor ist zunächst, dass Windenergieanlagen während ihres Betriebes keinerlei fossile Ressourcen benötigen und keine klimaschädlichen Emissionen erzeugen.

Hieraus lassen sich Vergleichszahlen ermitteln, nach denen eine Windenergieanlage während Ihres Betriebes im Vergleich zur Stromerzeugung mit fossilen Brennstoffen enorme Mengen CO<sub>2</sub> einspart.

Laut dem Wirtschaftsreport 2009 des VDMA wurden 2008 mit einer weltweit installierten Kapazität von über 120.000 Megawatt insgesamt 158 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub> vermieden.

Auch die Energiebilanz der Herstellung einer Windenergieanlage (WEA) ist äußerst positiv.

**„Die zur Produktion eingesetzte Energie haben die Anlagen nach nur drei bis sechs Monaten wieder eingefahren.“**

(Die Windindustrie in Deutschland)

Quelle: <http://www.deutsche-windindustrie.de/fakten/klimaschutz/>

Geht man von einer durchschnittlichen Laufzeit einer Anlage von etwa 20 Jahren aus, erklären sich die enormen Potentiale der Windenergie. Im Rahmen ihrer Laufzeit kann eine WEA somit das 40- bis 80-fache an Energie erwirtschaften, die zu ihrer Herstellung nötig war.

Ein komplexes Thema stellte lange Zeit die Verwendung ausgedienter Rotorblätter dar.

Aber auch bezüglich dieses Problemfeldes wurde eine Lösung gefunden. Heute gibt es nachhaltige Verwertungsansätze für Rotorblätter, die am Ende ihrer Nutzungsdauer angelangt sind. Bei einem Verfahren aus der Zementindustrie werden nicht nur die Energiegehalte der Harze, sondern auch die mineralischen Komponenten wie SiO<sub>2</sub> oder CaO der ausgedienten Rotorblätter vollständig verwertet. Weitere Informationen zu diesem Thema finden Sie im Verlauf dieses Berichtes oder unter [www.compocycle.com](http://www.compocycle.com)

Ein weiterer Anwendungsbereich, in dem FVK bereits eine wichtige Rolle spielt, wenn auch der breiten Öffentlichkeit eher unbekannt, ist der Infrastrukturbereich.

Auch dort wird die Verwendung von FVK zukünftig nach unserer Einschätzung noch weiter zunehmen. Das folgende Kapitel soll dies anhand eines entsprechenden Beispiels verdeutlichen.

## 4.2 FVK in der Infrastruktur

Ein weniger bekanntes Gebiet, in dem GFK verwendet wird, ist der Baubereich beziehungsweise konkret der Infrastrukturbereich.

Auch hier zeigen sich vor allem im Bezug auf Nachhaltigkeit viele Vorteile von FVK. Im konkreten Fall geht es um die Anwendung im Brückenbau.

Das unten stehende Foto zeigt eine Fußgängerbrücke in Moskau, an die, aufgrund der besonderen Witterung, sehr hohe Anforderungen gestellt werden.



Quelle: [www.fiberline.com](http://www.fiberline.com)

Generell haben GFK, wie bereits erläutert, einige typische, vor allem für das Bauwesen vorteilhafte Eigenschaften, die hier nochmal dargestellt werden sollen.

Dies Vorteile sind unter anderem:

- Hohe mechanische Festigkeit bei niedrigem Gewicht
- Beständigkeit gegen Korrosion und Ermüdung
- Vielfältige gestalterische Möglichkeiten
- Vielfältige Kombinationsmöglichkeiten der Werkstoffkomponenten

GFK-Bauteile oder sogar Komplettkonstruktionen sind aufgrund einiger dieser Eigenschaften

geradezu prädestiniert für den Einsatz im Brückenbau.

Brückenkonstruktionen sind Zeit ihres Bestehens dauerhaft der Witterung und zusätzlichen Belastungen wie z. B. Streusalz im Winter ausgesetzt. Da GFK gegenüber Frost und Tau-Salzen beständig ist (die mechanischen Eigenschaften werden nicht signifikant beeinflusst), zeigt sich hier ein enormer Vorteil gegenüber Stahl oder Beton, aus denen Brücken zu größten Teilen gefertigt sind.

Der zweite Vorteil gegenüber herkömmlicher Bauweise besteht in dem geringeren Gewicht von GFK. Eine Kunststoffbrücke wiegt etwa vierzig Prozent einer Stahlverbundbrücke und weniger als dreißig Prozent einer Spannbetonbrücke und kann daher in deutlich größeren Längen vorgefertigt und mit dem Kran eingehoben werden.

Daneben lässt sich der Überbau, also auch die Fahrwerksdecke, bereits vormontieren, was die Aufbauzeiten insgesamt deutlich verringert und die oft vorhandenen Stauzeiten bei Neubauten oder Sanierungen verringert.

Bislang werden komplette GFK-Brücken vornehmlich im Bereich von Fußgängerbrücken mit geringen Radien eingesetzt, da die Verformungssteifigkeit von GFK geringer ist als die von Stahl. Dennoch eröffnet sich in diesem Bereich ein weites Feld für zukünftige Anwendungen.<sup>1</sup>

Neben den rein technischen Vorteilen gibt es aber auch in diesem Anwendungsbereich Vorteile in Bezug auf die Nachhaltigkeit.

Eine Studie, die im Auftrag der Stadtverwaltung Rotterdam durchgeführt worden ist, hat die Vor-

<sup>1</sup> Faserverbundwerkstoffe in Architektur und Bauwesen – Universität Stuttgart

teile des Einsatzes von FVK-Brücken in Rotterdam gegenüber „herkömmlicher“ Bauweise vor allem hinsichtlich des energetischen Mehrwertes ermittelt. In der Studie wurden mehrere Indikatoren zum Vergleich herangezogen. Unter anderem sind dies:

- Der „kumulative Energiebedarf beziehungsweise Energiegehalt“ - Berechnung des Energiebedarfes eines Produktes über den gesamten Lebenszyklus (Herstellung der Grund- und Rohstoffe, Herstellungsprozess, Transport sowie Nutzung und Entsorgung)
- Der Carbon Foot-Print (CO<sub>2</sub>-Vergleich)

Berechnet wurden die Daten für eine Brücke mit einer Spannweite von 11,85 Metern und einer angenommenen „Lebensdauer“ von 100 Jahren. Daneben soll die Brücke über Wasser führen und für den Transport/Schwerverkehr geeignet sein.

Die Analyse wurde unter Berücksichtigung verschiedener „Lebensphasen“ durchgeführt:

- Realisierung inklusive der Grundstoffe (Herstellung der Brücke, Transport, Unterbauten etc.)
- Unterhalt/Instandsetzung
- Umbau und/oder Verlagerung der Brücke nach 50 Jahren (Erfahrungen zeigen, dass Brücken im Durchschnitt nach diesem Zeitraum versetzt oder komplett saniert werden müssen)
- Abbau (Einfluss auf die Umwelt durch Recycling; Energiebedarf für Zerkleinerung)

Neben signifikanten Unterschieden im Gewicht, die bereits oben beschrieben sind, kommt die Studie zu folgenden Ergebnissen:

- Für den **Unterhalt bzw. die Instandhaltung** einer CFK- oder GFK-Brücke würden im Gegensatz zu einer Beton- oder Stahlbrücke keine zusätzlichen Mittel benötigt. Aufgrund der Alterung und des Verschleißes der letztgenannten Werkstoffe würden im Laufe von 50 Jahren ca. 5% des eingesetzten Betons & der Konstruktion ersetzt werden müssen
- In Bezug auf die **Langlebigkeit und des Alterungsprozesses** zeigt sich ein noch deutlicheres Bild. Es wird angenommen, dass die beiden Kunststoffbrücken nach 50 Jahren problemlos versetzt werden können. Die Stahl- und Betonkonstruktionen müssten nach 50 Jahren jeweils komplett abgebaut, recycelt und an anderer Stelle neu aufgebaut werden

Folgende Ergebnisse lieferte der bereits beschriebene **Index zum kumulierten Energiebedarf**. Dieser Wert beschreibt, über welchen Energiegehalt ein Produkt/Bauteil verfügt. Hierbei sind die Herstellung der eingesetzten Rohstoffe, der eigentliche Herstellungsprozess, der Transport und das Recycling (positiv und negativ) berücksichtigt.

- Der „Energiegehalt“, in Gigajoule (GJ) gemessen, einer Betonbrücke beträgt demnach bei dem 100-jährigen Lebenszyklus 1978 GJ
- Zur Herstellung einer Kohlenstofffaserbrücke werden demnach etwa 2210 GJ benötigt
- Die Stahlbrücke verbraucht nochmal deutlich mehr Energie, nämlich 3380 GJ
- Den geringsten Energiebedarf würde hier die GFK-Brücke mit rund 652 GJ benötigen



Als nächster Indikator wurde in der Studie der sogenannte **Carbon-Footprint** der vier Alternativen berechnet. Dieser summiert in Form einer Bilanz die Treibhausgas-Emissionen entlang eines Lebenszyklus auf. Zur besseren Vergleichbarkeit werden die Treibhauspotentiale eines Gases in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet. Diese Berechnung lieferte die folgenden Ergebnisse:

- Eine GFK-Brücke setzt über ihren gesamten Lebenszyklus 75 Tonnen CO<sub>2</sub> frei.
- Bereits deutlich darüber liegt die zweite Kunststoffalternative, Kohlenstoff, mit 108 Tonnen CO<sub>2</sub>
- Die Betonbrücke jedoch setzt bereits 145 und die Stahlbrücke 178 Tonnen CO<sub>2</sub> frei.

Auch hier ergibt sich ein klarer Vorteil für die Glasfaserbrücke. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die GFK-Brücke bei allen hier betrachteten Indikatoren „besser“ abgeschnitten hat. Jedoch gibt es neben der bereits angesprochenen bauartbedingten Einschränkung auch noch einige offene Punkte.

GFK ist ein relativ junges Material, bei dem Erfahrungswerte im Bereich von 100 Jahren fehlen. Bei den genannten Angaben kann es sich somit nur um theoretische Berechnungen handeln.

Daneben sind die Recyclingkonzepte für Stahl und Beton deutlich weiter fortgeschritten als jene von GFK und CFK. Hier zeigt sich der Bedarf, entsprechende Konzepte weiterzuentwickeln.

Wie nachhaltig ist die Verwendung von GFK nun aber wirklich in einem Alltagsgegenstand wie dem Automobil? Dieser Frage widmet sich das folgende Kapitel.

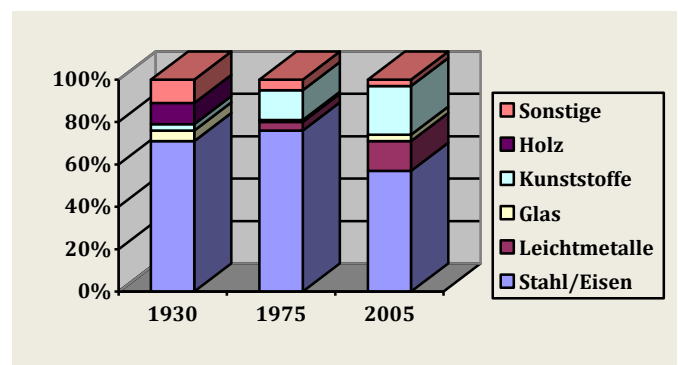
### 4.3 FVK im Automobilbereich

Die Anwendungen für FVK-Werkstoffe im Automobilbereich sind äußerst vielfältig. Die wohl bekanntesten Beispiele findet man beispielsweise im Rennsport- oder Tuningbereich, in denen eine große Anzahl von Karbonbauteilen oder Einzelelementen verwendet werden.

Sehr weit verbreitet ist mittlerweile auch die Verwendung von GFK-Bauteilen. Diese sind aufgrund ihrer Beschaffenheit eher weniger auffällig als Karbon-Elemente, machen aber mittlerweile einen nicht unerheblichen prozentualen Anteil von verbauten Werkstoffen aus.

Die folgende Abbildung zeigt anhand verschiedener BMW-Modelle den Unterschied der Werkstoffverwendung im Automobilbereich über die letzten etwa 80 Jahre:

- Im BMW „Dixi“ aus den 30er Jahren wurde Kautschuk verwendet, der hier unter Kunststoff geführt wird. FVK kam zu dieser Zeit noch nicht vor. Andere Werkstoffe wie Holz oder Metalle standen im Vordergrund.
- Dies änderte sich in den späteren Baureihen (hier 3er BMW 1975 und 3er BMW 2005) deutlich. Der Verwendungsanteil von Kunststoffen stieg erheblich an.



Quellen: Stauber [http://www.bavarn-innovativ.de/stauber\\_Vortrag](http://www.bavarn-innovativ.de/stauber_Vortrag); Richter: [http://www.gdch.de/strukturen/fg/wirtschaft/vcw\\_va/richter.pdf](http://www.gdch.de/strukturen/fg/wirtschaft/vcw_va/richter.pdf); [http://www.ift.tu-bs.de/alt/docs/studium/Werkstoffe\\_im\\_Automobilbau.pdf](http://www.ift.tu-bs.de/alt/docs/studium/Werkstoffe_im_Automobilbau.pdf)

Aus welchem Grund wurden nun in den vergangenen Jahren speziell FVK in Automobilen verbaut?

An Werkstoffe, die heute bei der Herstellung verwendet werden, werden zahlreiche Anforderungen gestellt. Diese unterscheiden sich je nach Bauteil/Bauteilgruppe teils erheblich, teils stimmen sie überein. Beispielhaft sind im Folgenden einige Anforderungen aufgeführt:

- Rohkarosserie: Festigkeit und Steifigkeit, Crash-Sicherheit, Verwindungssteifigkeit, geringes Gewicht
- Anbauteile (sichtbar): Hohe Oberflächenqualität, gute (Um-) Formbarkeit, Lackierbarkeit, gute Beulsteifigkeit, geringes Gewicht
- Interieur: Ansprechende Optik, hohe Recyclingfähigkeit, gute Haptik, hohe passive Sicherheit, geringes Gewicht
- Achsen/Fahrwerk: Hohe Crash-Sicherheit, hohe Steifigkeit, hohe dynamische Festigkeit, gute Korrosionsbeständigkeit, niedrige Kosten

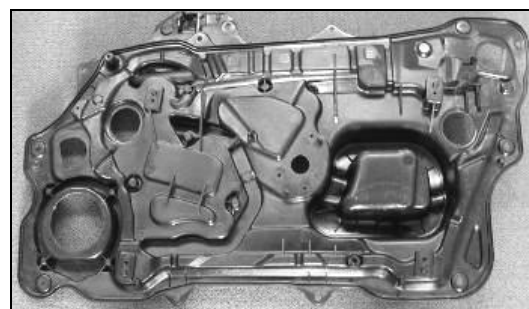
Diese zahlreichen, sich teilweise vordergründig auch widersprechenden Anforderungen im Automobilbereich (z. B. Festigkeit versus Gewicht) erfordern zunehmend maßgeschneiderte Werkstofflösungen. Hier bieten sich FVK Lösungen an, die bereits in den vorangegangenen Kapiteln eine Rolle gespielt haben. Aufgrund der Vielfalt möglicher Faser-Matrix-Kombinationen und Fertigungstechniken mit unterschiedlichen Fasergehalten bietet die Faserverbundtechnik ein hohes Potential, Werkstoffe entsprechend dem Anforderungsprofil „maßzuschneiden“.

Generell gibt es einige Anforderungen, die in jüngster Zeit verstärkt auftauchen und quasi

generalistischen Charakter im Bereich des Automobilbaus haben. Dies sind: Leichtbau, Sicherheit, Umweltverträglichkeit, Komfort und Kundennutzen.

Im Folgenden werden einige dieser Anforderungen vor dem Hintergrund der Verwendung von FVK genauer beleuchtet, wobei erneut der Aspekt der Nachhaltigkeit beziehungsweise der hier angesprochenen Umweltverträglichkeit im Vordergrund steht. Diese sind eng mit den anderen Punkten verbunden.

Bisher wurden FVK-Bauteile im Automobilbereich aus unterschiedlichen Gründen verbaut. Auslösend konnte etwa die Möglichkeit zur Fertigung komplexer, großflächiger Bauteile aus einem Stück sein, wie sie z. B. für den Unterbodenschutz oder in Türverkleidungen verwendet werden.



Quelle: AVK-Arbeitskreis – EATC

Auch das Leichtbaupotential von FVK hat eine große Bedeutung, so werden beispielsweise Anbauteile im Nutzfahrzeugbereich, wie etwa Stoßfänger oder Windschilden, sowie Kühlerpartien aus GFK gefertigt.

Das Potential von FVK ist aufgrund seines Leichtbaupotentials speziell im Bezug auf die Nachhaltigkeit im Automobilbereich noch viel größer. Eines der entscheidenden Themen ist für fast alle Automobilhersteller derzeit die Debatte um die Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die ausgesprochenen Ziele zur Reduktion bei Neufahrzeugen bis 2020 erscheinen mit herkömmlichen Konzepten nicht erreichbar. Hohe Strafen für die Automobilhersteller wären die Folge.

Aufgrund des geringeren Gewichts, welches durch den Leichtbau erreichbar ist, kann entweder das Gesamtgewicht eines Fahrzeuges und somit der Verbrauch gesenkt werden, es können aber auch leistungsärmere Motoren bei gleichem Fahrverhalten eingebaut oder der Einbau schwerer Komponenten, z. B. Elektromotoren, kompensiert werden.

Anhand dieser Diskussion und mit Hilfe einiger Veröffentlichungen, unter anderem von Volkswagen und Toyota, werden im Folgenden einzelne Aspekte des Leichtbaus dargestellt, sowie Beispiele für entsprechende Zukunftsstudien geliefert und Möglichkeiten aufgeführt, die FVK/GFK in diesem Segment bieten.

Christoph Koffler und Klaus Rohde-Brandenburger, beide Mitarbeiter der Volkswagen Group, haben im Oktober 2009 einen detaillierten Artikel mit dem Titel „On the calculation of fuel savings through lightweight design in automotive life cycle assessments“ veröffentlicht. In diesem Bericht wird eine Berechnungsmethode vorgestellt, anhand derer das Einsparungspotential von Kraftstoff anhand der Gewichtsreduktion berechnet wird.

Ohne an dieser Stelle ausführlich auf ihre Berechnung einzugehen, kommen Koffler und Rohde-Brandenburger zu dem Schluss, dass es

zur Bewegung einer Masse von 100 Kilogramm einer spezifischen Benzinmenge bedarf und dass die Reduktion des Fahrzeuggewichtes, einem physikalischen Prinzip folgend, selbstverständlich zur Einsparung im genannten Bereich führt. Ohne die Berechnungen im Einzelnen und die Richtigkeit der errechneten Kraftstoffmengen zu bewerten, kann festgehalten werden, dass durch eine Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs eine Erhöhung der Reichweite erreicht werden kann beziehungsweise bei gleicher Reichweite der Kraftstoffverbrauch reduziert wird.

Der Leichtbau stellt somit neben weiteren Ansatzpunkten, wie etwa einer Verbesserung der Motorentechnik, einen der wichtigsten Faktoren bei der Einsparung von Kraftstoff und zur CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion dar: Koffler und Rohde-Brandenburger fassen dementsprechend zusammen: „Accordingly, lightweight design has been recognized as one of the key measures for reducing vehicle fuel consumption, along with power train efficiency, aerodynamics and electrical power management.“

Anders ausgedrückt heißt es in einer VW-Pressemeldung vom September 2009: „Wie muss ein Auto aussehen und beschaffen sein, das so wenig Energie wie nur möglich verbraucht? Die logische Antwort: extrem aerodynamisch und leicht. Das allerdings unter einer nicht zu diskutierenden Bedingung: maximale Sicherheit.“ Entnommen ist dieses Zitat einer Vorstellung des nach eigenen Aussagen „sparsamsten Automobils der Welt“, des L1. Dieses wurde auf der IAA 2009 vorgestellt und setzt unbestreitbar Maßstäbe in Punkto Umweltverträglichkeit, ohne dabei auf andere wesentliche Faktoren zu verzichten.

Die Studie zum L1 verbindet wesentliche Elemente des Leichtbaus mit weiteren für den Kraftstoffverbrauch ausschlaggebenden Argumenten. Es handelt sich um ein Voll-Hybrid-Fahrzeug. Dieses verfügt über eine komplett mit Karbonfasern verstärkte Kunststoff-Karosserie, die das Gesamtgewicht des Fahrzeuges auf 380 Kilogramm senkt. Hierdurch entsteht ein Durchschnittsverbrauch von 1,38 Litern Diesel/100km. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen des 160 km/h schnellen L1 betragen analog 36 g/km. Besonders auch das große Potenzial - durch Auslegung und Fertigung von Karosserieleichtbauteilen aus faserverstärkten Kunststoffen - eine gewisse Designfreiheit zu erlangen, hat den CW-Wert dieses Fahrzeuges auf 0,195 gesenkt. Auch hier ist neben dem reduzierten Gewicht ein weiterer Faktor für den geringen Verbrauch zu sehen.



Quelle: Volkswagen [www.volkswagen.de](http://www.volkswagen.de)

Auch andere Fahrzeughersteller haben das entsprechende Leichtbaupotential mit der Kombination sparsamer Motoren und umfassenden Designkonzepten erkannt.

So stellte beispielsweise Toyota kürzlich das Konzeptfahrzeug 1/X vor. Dieses Leichtbaufahrzeug in Form eines Viersitzers soll später einen Verbrauch von 2,17 Litern auf 100 Kilometer haben.

Die steigenden gesetzlichen Anforderungen zur Reduzierung des Ausstoßes von CO<sub>2</sub> könnten somit zu höherer Akzeptanz auch bei den Endkunden für den Leichtbau führen.

Speziell FVK bieten hier im Gegensatz zu dem schwereren Stahl ein enormes Potential. Andere Werkstoffe wie beispielsweise Aluminium weisen zwar ein ähnlich geringes Gewicht auf, sind aber hinsichtlich der Formbarkeit eingeschränkt und sind in der Herstellung energetisch im Vergleich zu FVK enorm aufwändig.

Abschließend sei explizit darauf hingewiesen, dass FVK keinesfalls „besser“ oder „schlechter“ als etablierte Werkstoffe im Automobilbereich sind und diese niemals ganz ersetzt werden. Auch hier sind die spezifischen Eigenschaften entscheidend. Es wird auch zukünftig Anwendungen geben, bei denen hochfeste Stähle oder Aluminium klare Vorteile gegenüber FVK haben. Im Zuge der nachhaltigen Entwicklung und der Ressourcenschonung ist es jedoch unerlässlich, den passenden Werkstoff für jede spezifische Anwendung zu wählen. Hier werden FVK zukünftig eine wichtige Rolle spielen.

Besondere Bedeutung erhalten FVK beispielsweise im Zuge der Diskussion um die Elektromobilität. Da Akkus zum Betrieb entsprechender Fahrzeuge derzeit noch ein sehr hohes Gewicht aufweisen, steigt das Fahrzeuggewicht in herkömmlicher Bauweise durch entsprechende Ausstattungen stark an, was wiederum zu einem erhöhten Verbrauch führt.

Zukünftig werden also Wege gefunden werden müssen, das Fahrzeuggewicht generell zu senken. Der gewählten Argumentation folgend, werden FVK also auch im Rahmen dieser Entwicklung einen wichtigen Beitrag leisten können.

Einer der größten Anwendungsbereiche für FVK ist die Luftfahrtindustrie. Warum das so ist und in wieweit Verbundwerkstoffe dort einen Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten, wird im folgenden Kapitel betrachtet.

## 4.4 FVK in der Luftfahrt

Eine Anwendung, bei der sich die Leichtbauweise mit FVK schon sehr stark durchgesetzt hat, ist die Luftfahrtindustrie.

Moderne Flugzeuge bestehen zu einem erheblichen Teil aus Faserverbundwerkstoffen.

So wurden beispielsweise im Airbus A 380 eine Vielzahl verschiedener FVK verwendet, wie die folgende Abbildung zeigt.



Zu diesen zählen neben den eher bekannten Werkstoffen wie z. B. CFK und GFK auch weniger bekannte Werkstoffe wie z. B. QFK (Quarzverstärkte Kunststoffe) oder Glare.

Die Flugzeuge mit dem derzeit höchsten Anteil an Verbundwerkstoffen sind der Airbus A 350 XWB und der Boeing 787 Dreamliner.

Der A 350 XWB hat einen Composite-Anteil von 53%. Der Anteil von Aluminium liegt bei etwa 19%. Titan (14%) und Stahl (6%) sind mengenmäßig die nächstgrößten Gruppen.

Der 787 Dreamliner weist ähnliche Materialwerte auf. Der Composite-Anteil liegt hier bei 50%. Aluminium ist zu 20% enthalten. Titan macht 10% und Stahl 5% aus (Quellen: Wikipedia; BBC; Boeing).

Eine Argumentation für den Einsatz von Faserverbunden liefert Boeing auf seiner Website:

„[...] They will bring the economics of large jet transports to the middle of the market, using 20 percent less fuel than any other airplanes of their size.[...]”

Die Reduzierung des Gewichtes und damit die Einsparung an Treibstoff hat hier weniger den Charakter eines ökologischen Statements, vielmehr verfolgen die Airlines in erster Linie das Ziel, über Gewichtsreduktion Kerosin einzusparen und durch den sinkenden Verbrauch ihre Kosten zu minimieren.

Hier zeigt sich ein weiteres Argument für den Leichtbau mit FVK: In Anbetracht der zu Beginn aufgestellten Definition einer nachhaltigen Entwicklung ist die Betrachtung auch der ökonomischen Seite durchaus positiv, denn nur wenn ein Werkstoff auch rentabel eingesetzt werden kann, führt dies zu seiner dauerhaften Verwendung. Im Bereich der Luftfahrt wurde dieser Schritt bereits erfolgreich gegangen.

Nichtsdestotrotz ist mit einer Verringerung des Verbrauches an Kerosin auch in diesem Fall eine Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emission verbunden. So beschreibt beispielsweise Airbus in einer Pressemeldung zum A 380, dass aufgrund der Verwendung von CFK im Bereich der Flügel 1,5 Tonnen an Gewicht gespart werden konnten. Die SKF-Group erläutert hierzu passend, dass aus einer Gewichtseinsparung von 10 Kilogramm pro Flugstunde eine Reduzierung des Kerosinverbrauches von 3 Litern resultiert. Auch wenn diese Zahlen nicht genauer belegt werden und die Einsparung - gemessen am Gesamtverbrauch eines modernen Langstreckenflugzeuges - wohl eher eine geringe Quote ist, so verdeutlicht dies sehr anschaulich, welches Potential bereits kleine Gewichtseinsparungen haben.

## 5. Zusammenfassung/Ausblick

Die dargestellten Informationen zeichnen ein sehr positives Bild der Verstärkten Kunststoffe. Dies hat aufgrund der vielen positiven Eigenschaften durchaus seine Berechtigung. Es soll an dieser Stelle aber nicht verschwiegen werden, dass es auch im Bereich FVK einige offene Fragen gibt, die zu beantworten nicht dem Zufall überlassen bleiben dürfen.

Dem enormen Potential im Bereich der Nachhaltigkeit z. B. durch CO<sub>2</sub>-Reduktion im Automobilbereich oder den positiven energetischen Werten bei der Life-Cycle-Betrachtung stehen nur wenige vielversprechende Recycling- und Verwertungsverfahren am Ende des Produktlebenszyklus von FVK gegenüber. Ein besonderes Problem stellen vor allem die sogenannten Duroplaste dar. Diese bilden im Herstellungsprozess ein widerstandsfähiges Gefüge, welches nur schwer aufgebrochen werden kann.

Auch der Trennungsprozess von Fasern und Matrix nach der Zerkleinerung gestaltet sich problematisch. Aus diesem Grund können die zerkleinerten Teile nur in wenige Produktionsprozesse integriert oder als Füllstoff verwendet werden. Eine andere Möglichkeit ist die sogenannte thermische Verwertung. Dabei werden die Reststoffe in einer Müllverbrennungsanlage, unter Rückgewinnung der in ihnen enthaltenen Energie, beseitigt. Die zurückbleibenden Verbrennungsrückstände können jedoch vielfach nur deponiert werden oder müssen aufwändig weiter behandelt werden. Ein biologischer Abbau, etwa über Kompostierung, ist derzeit ebenso wenig möglich wie getrenntes werkstoffliches oder rohstoffliches Recycling.

Einen vielversprechenden neuen Ansatz gibt es in der Zementindustrie. Im Zuge der Etablierung eines neuen Labels mit dem Namen „CompoCycle“ ([www.compocycle.com](http://www.compocycle.com)) und einer damit verbundenen Prozesskette zur Entsorgung von FVK wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem FVK-Abfälle aufbereitet und anschließend bei der Herstellung von Zement als Roh- und Brennstoff eingesetzt werden. Durch die hundertprozentige stoffliche und thermische Verwertung in diesem Prozess werden natürliche Ressourcen geschont und damit ein weiterer Beitrag zur Nachhaltigkeit geleistet.

Eine Aufgabe der AVK und der Industrie generell, der wir uns gerne stellen, besteht nun darin, gemeinsam mit beteiligten Konzernen weitere nachhaltige Verwertungs- und Recyclingmethoden zu entwickeln.

Vergessen werden darf in diesem Zusammenhang nicht, dass es sich bei den faserverstärkten Kunststoffen um einen „jungen“ Werkstoff handelt. Gemessen an anderen Materialien wie z. B. Stahl oder Holz befinden wir uns in der Anfangsphase der Verwendung und Entwicklung. Es gibt noch viel zu tun. Wir sind aber davon überzeugt, dass FVK, auch unter der Beachtung gewaltiger vor uns liegender Anforderungen im ökologischen Bereich, ein entscheidender Werkstoff des 21. Jahrhunderts ist, ohne den zukünftig kaum eine Branche auskommen wird.

Was bleibt darüber hinaus zu tun?

Wir sind von den Vorteilen unseres Werkstoffes, auch in Bezug auf die optimale Nutzung der uns zur Verfügung stehenden endlichen Ressourcen, in vielen Bereichen überzeugt.

Leider ist der Bekanntheitsgrad unserer Werkstoffe an vielen Stellen noch nicht allen Entscheidern bekannt.

Auch an den Hochschulen, an denen die zukünftigen Designer, Produktentwickler und Ingenieure ausgebildet werden, wird FVK oft noch zu Gunsten „klassischer“ Werkstoffe vernachlässigt. Hier sehen wir eine der wichtigsten zukünftigen Aufgaben innerhalb der Branche. Es gilt, unermüdlich die Vorteile aufzuzeigen, ohne jedoch die problematischen Seiten zu vernachlässigen.

Nach unserem Verständnis bestehen enorme Möglichkeiten auch in der Kombination verschiedener Werkstoffe. Deshalb ist es unser Wunsch, wegzukommen von der rein werkstoffseitigen Betrachtung mit der Frage „Was kann der Werkstoff?“ hin zu einer Produkt-bezogenen Betrachtung. Die Frage lautet hier: Was soll ein Produkt können beziehungsweise welche Charakteristika soll es aufweisen? Anschließend ist die Frage zu stellen, welcher Werkstoff oder welche Werkstoffkombination die gestellten Anforderungen am besten erfüllt.

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Sie wollen sich an der Arbeit beteiligen oder haben Hinweise und Fragen?

Dann wenden Sie sich bitte an:

Arbeitskreis Nachhaltigkeit

AVK – Industrievereinigung Verstärkte

Kunststoffe e. V.

Am Hauptbahnhof 10

60329 Frankfurt am Main

[info@avk-tv.de](mailto:info@avk-tv.de)

## Mitgliedsunternehmen des Arbeitskreises

### „Nachhaltigkeit“:

- BASF Aktiengesellschaft  
[www.basf.com](http://www.basf.com)
- BiinC – Composites Innovation & Sustainability  
[www.biinc.nl](http://www.biinc.nl)
- BYK-Chemie GmbH  
[www.byk.com](http://www.byk.com)
- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
[www.dlr.de](http://www.dlr.de)
- DSM Composite Resins  
[www.dsm.com](http://www.dsm.com)
- FKUR Kunststoff GmbH  
[www.fkur.de](http://www.fkur.de)
- Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP  
[www.lbp.uni-stuttgart.de](http://www.lbp.uni-stuttgart.de)
- Johns Manville Europe GmbH  
[www.jm.com](http://www.jm.com)
- LORENZ Kunststofftechnik GmbH  
[www.lomix.de](http://www.lomix.de)
- Menzolit GmbH  
[www.menzolit.com](http://www.menzolit.com)
- PlasticsEurope Deutschland e.V.  
[www.plasticseurope.de](http://www.plasticseurope.de)
- Polymer-Consulting Dr. Lars Peters  
[www.polymer-consulting.de](http://www.polymer-consulting.de)
- POLYNT GmbH  
[www.polynt.it](http://www.polynt.it)
- PPG Industries Fiber Glass b.v.  
[www.ppg.com](http://www.ppg.com)
- SKZ-KFE gGmbH  
[www.skz.de](http://www.skz.de)
- Ticona GmbH  
[www.ticona.com](http://www.ticona.com)