



# VOM EINBAUM ZUM HIGH- TECH-SPORTGERÄT

Und die  
Geschichte der  
Faserverbundwerkstoffe

SEMINARKURS  
2014/2015

TECHNISCHES  
GYMNASIUM  
DER JÖRG-  
ZÜRN-  
GEWERBE-  
SCHULE

DOMINIK HAHN | MARIO KUHFIELD | LARS KREIMER



Vorwort

Aus einer Idee etwas Einzigartiges zu schaffen – das war schon immer das Bestreben der Menschheit. Nur so kann ein Fortschritt erreicht werden. Auch uns hat der Gedanke inspiriert und uns dazu getrieben unsere Idee zu verwirklichen und etwas Individuelles zu gestalten. Sowohl der Kajaksport, als auch die Arbeit mit Faserverbundwerkstoffen interessierte uns schon seit Längerem. Zum einen haben wir Erfahrungen im Bereich des Kajaksports erlangt, konnten uns allerdings nie ein eigenes Kajak leisten. Dadurch sind wir auf den Gedanken gekommen, ein seetaugliches Kajak zu entwerfen und zu konstruieren. Zum anderen haben wir durch den Bau von Longboards, aus Kohle-/ Glasfasern, schon einige Erfahrungen in der Verarbeitung der Faserverbundwerkstoffe gesammelt. Wir wollen die beiden Themengebiete in unserer praktischen Arbeit zusammenführen um die vorhandenen Erfahrungen auszuweiten.

In dieser Dokumentation wollen wir zusätzlich auf die Geschichte der Kajaks und der Faserverbundstoffe eingehen und unsere Arbeit in Form eines selbst entworfenen und gebauten Kajaks darstellen.

Auch möchten wir uns bei unseren Sponsoren bedanken, der Firma Holz Hahn die uns Holz zum Bau unserer Form gestellt hat, bei der Firma A.C.E. Hagnau und besonders Herrn Gröschl, die uns sehr großzügig in unserem Projekt mit Material zum Bau des Kajaks versorgt hat und auch der Firma R und G Faserverbundwerkstoffe GmbH, die uns mit einem großzügigen Rabat auf das Harz und den Gelcoat unterstützten.

Außerdem möchten wir uns recht herzlich bei Herrn Kreimer bedanken, der uns tatkräftig bei der praktischen Umsetzung unseres Projektes unterstützt hat und bei Bastian Dietrich, der uns mit seiner langjährigen Erfahrung auf diesem Gebiet, stets mit seinem Wissen und seiner tatkräftigen Unterstützung zur Seite stand.

## Inhaltsverzeichnis

### Vorwort

|   |    |
|---|----|
| 1. Abbildungsverzeichnis.....                           | 4  |
| 2. Begriffserklärung .....                              | 7  |
| 3. Abkürzungsverzeichnis.....                           | 7  |
| 4. Einleitung .....                                     | 8  |
| 4.1. Thema.....   | 8  |
| 4.2. Problematik .....                                  | 8  |
| 4.3. Zielsetzung .....                                  | 8  |
| 4.4. Fragestellung .....                                | 8  |
| 5. Faserverbundwerkstoffe.....                          | 9  |
| 5.1. Geschichte .....                                   | 9  |
| 5.1.1. Vorbilder in der Natur.....                      | 9  |
| 5.1.2. Erste Faserverwendungen.....                     | 9  |
| 5.1.3. Entwicklung moderner Faserverbundwerkstoffe..... | 10 |
| 5.2. Eigenschaften .....                                | 12 |
| 5.2.1. Glasfaser .....                                  | 12 |
| 5.2.2. Kohlefaser.....                                  | 13 |
| 5.3. Herstellung .....                                  | 14 |
| 5.3.1. Herstellung der Glasfasern .....                 | 14 |
| 5.3.2. Herstellung der Kohlefasern .....                | 16 |
| 5.3.3. Herstellung des Gewebes.....                     | 16 |
| 5.4. Funktionsweise.....                                | 18 |
| 5.5. Verschiedene Materialien .....                     | 19 |
| 5.5.1. Fasern / Gewebe .....                            | 19 |
| 5.5.2. Harze.....                                       | 19 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 5.6.   | Verarbeitungsverfahren .....                | 20 |
| 5.7.   | Heutige Anwendungsbereiche.....             | 24 |
| 6.     | Kajak.....                                  | 29 |
| 6.1.   | Geschichte .....                            | 29 |
| 6.1.1. | Ursprung und Geschichte des Kajaks .....    | 29 |
| 6.1.2. | Damalige Anwendungsgebiete .....            | 33 |
| 6.1.3. | Kajaksport.....                             | 33 |
| 6.2.   | Das moderne Kajak .....                     | 39 |
| 6.2.1. | Design.....                                 | 39 |
| 6.2.2. | Typen .....                                 | 40 |
| 6.2.3. | Ausrüstung.....                             | 41 |
| 7.     | Das Projekt „Bau eines Kajaks“ .....        | 42 |
| 7.1.   | Planung.....                                | 42 |
| 7.2.   | Planung der Form.....                       | 42 |
| 7.3.   | Der Bau des Kajaks Schritt für Schritt..... | 43 |
| 8.     | Fazit.....                                  | 55 |
| 8.1.   | Résumé.....                                 | 55 |
| 8.2.   | Aufgetretene Probleme.....                  | 56 |
| 9.     | Anhang.....                                 | 57 |
| 9.1.   | Quellen .....                               | 57 |
| 9.1.1. | Bilderquellen .....                         | 57 |
| 9.1.2. | Literaturverzeichnis .....                  | 59 |

## 1. Abbildungsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| Abb. 5-1: Winterschachtelhalm .....   | 9  |
| Abb. 5-2: 52er Corvette .....   | 10 |
| Abb. 5-3: Kevlarweste .....   | 11 |
| Abb. 5-4: Aramid-Carbon Hybridgewebe.....   | 16 |
| Abb. 5-5: Aramidrowing.....   | 17 |
| Abb. 5-6: Carbongelege .....  | 17 |
| Abb. 5-7: Glasfasermatte .....  | 17 |
| Abb. 5-8: Handlegeverfahren.....  | 21 |
| Abb. 5-9: Handlegeverfahren mit Vakuum.....   | 21 |
| Abb. 5-10: Prepreg-Gewebe .....   | 22 |
| Abb. 5-11: Vakuuminfusion .....   | 22 |
| Abb. 5-12: RTM-Pressen bei ACE.....   | 23 |
| Abb. 5-13: Teil eines Satelliten .....  | 24 |
| Abb. 5-14: Boeing 787 Dreamliner. Der komplette Rumpf und die Flügel bestehen aus FVW ..... | 24 |
| Abb. 5-15: Wildwasserkajak aus CFK.....   | 25 |
| Abb. 5-16: Formel 1 Wagen von Renault .....   | 26 |
| Abb. 5-17: Fertigung eines Rotorblattes von einer WKA .....                                 | 27 |
| Abb. 5-18: Anlagenteil aus CFK.....   | 27 |
| Abb. 5-19: MRT (Magnetresonanztomographie) .....  | 28 |
| Abb. 6-1: Einbaum.....  | 29 |
| Abb. 6-2: Das erste Faltkajak „Delphin“ .....   | 30 |
| Abb. 6-3: Erstes GFK-Kajak.....   | 30 |
| Abb. 6-4: Das „K3“ .....  | 31 |
| Abb. 6-5: Das PE-Kajak „Taifun“ .....   | 32 |
| Abb. 6-6: Wurfsack.....   | 32 |
| Abb. 6-7: Der Weg von Oskar Speck.....  | 35 |
| Abb. 6-8: Die ersten Kanurennen .....   | 36 |

|   |    |
|---|----|
| Abb. 6-9: Slalomrennen .....                          | 36 |
| Abb. 6-10: Drachenbootwettkampf .....                 | 37 |
| Abb. 6-11: Kanupolospiel .....                        | 37 |
| Abb. 6-12: Squirt boating .....                       | 38 |
| Abb. 6-13: Pyranha .....                              | 39 |
| Abb. 6-14: Seesack von Vaude .....                    | 41 |
| Abb. 6-15: Spritzdecke .....                          | 41 |
| Abb. 6-16: Schwimmweste .....                         | 41 |
| Abb. 6-17: Doppelpaddel aus Carbon .....              | 41 |
| Abb. 7-1: Der angepasste Bauplan .....                | 42 |
| Abb. 7-2: Die ausgeschnittenen Querschnitte .....     | 43 |
| Abb. 7-3: Übertragen der Querschnitte .....           | 43 |
| Abb. 7-4: Aussägen der Querschnitte .....             | 44 |
| Abb. 7-5: Die Hälftenpaare der Spannten .....         | 44 |
| Abb. 7-6: Zusammenfügen der Spantenteile .....        | 44 |
| Abb. 7-7: Der Bau des Grundgerüsts .....              | 45 |
| Abb. 7-8: Das fertige Grundgerüst der Form .....      | 45 |
| Abb. 7-9: Beplankung der Form .....                   | 45 |
| Abb. 7-10: Die Form von innen .....                   | 45 |
| Abb. 7-11: Aufgenagelte HFP .....                     | 45 |
| Abb. 7-12: Die fertige Grundform .....                | 46 |
| Abb. 7-13: Auftragen der Spachtelmasse .....          | 46 |
| Abb. 7-14: Unterhälfte wird gespachtelt .....         | 46 |
| Abb. 7-15: Ober- und Unterhälfte ausgespachtelt ..... | 46 |
| Abb. 7-16: Erhebung für Lukeneinlässe .....           | 47 |
| Abb. 7-17: Erhebung für Einstieg .....                | 47 |
| Abb. 7-18: Fertig geschliffene Oberhälfte .....       | 47 |
| Abb. 7-19: Fertig geschliffene Unterhälfte .....      | 47 |
| Abb. 7-20: Laminieren mit Glasfaser .....             | 48 |

|   |    |
|---|----|
| Abb. 7-21: Schleifen der Glasfaser.....               | 48 |
| Abb. 7-22: Bestreichen der Form mit Gelcoat.....      | 48 |
| Abb. 7-23: Probesitzen.....                           | 49 |
| Abb. 7-24: Gelcoat schleifen .....                    | 49 |
| Abb. 7-25: Polieren der Form .....                    | 49 |
| Abb. 7-26: Ausgeschnittene Glasfasergewebe.....       | 50 |
| Abb. 7-27: Wachsen der Form .....                     | 50 |
| Abb. 7-28: Einlegen der Deckschicht.....              | 50 |
| Abb. 7-29: Laminieren des Carbons .....               | 51 |
| Abb. 7-30: Positionierung der Schaumkerne .....       | 51 |
| Abb. 7-31: Laminieren der Glasfaser.....              | 51 |
| Abb. 7-32: Die letzte Lage laminiert .....            | 52 |
| Abb. 7-33: Anbringen der Vakuumtechnik .....          | 52 |
| Abb. 7-34: Luftansaugstutzen.....                     | 52 |
| Abb. 7-35: Die Pumpe bei der Arbeit .....             | 53 |
| Abb. 7-36: Abdichten des Vakuums.....                 | 53 |
| Abb. 7-37: Das Kajak erblickt das Licht der Welt..... | 53 |
| Abb. 7-38: Das Ausmaß der Gewalt .....                | 54 |
| Abb. 7-39: Die Belohnung unserer Arbeit .....         | 54 |
| Abb. 7-40: Die Jungfernfahrt.....                     | 54 |
| Abb. 8-1: Das „K-Team“ .....                          | 56 |

## 2. Begriffserklärung

|                  |   |
|------------------|---|
| Matrix           | Einbettung der Fasern                             |
| Bidirektional    | In zwei Richtungen                                |
| Multidirektional | In mehrere Richtungen                             |
| Unidirektional   | In eine Richtung                                  |
| Hybridgewebe     | Gewebe, dass aus mehr als einem Werkstoff besteht |
| Imprägniert      | Mit Harz benetzt                                  |
| Spanten          | Kommt aus dem Bootsbau, Querliegende Bretter      |
| Wabenkern        | Struktur im Leichtbau ähnlich zu Honigwaben       |

## 3. Abkürzungsverzeichnis

|      |                                   |
|------|-----------------------------------|
| FVW  | Faserverbundwerkstoffe            |
| CFK  | Carbonfaserverstärkter Kunststoff |
| GFK  | Glasfaserverstärkter Kunststoff   |
| PE   | Poly-Ethylen                      |
| HFP  | Hartfaserplatte                   |
| MRT  | Magnetresonanztomographie         |
| WKA  | Windkraftanlage                   |
| VDKS | Verband Deutscher Kanuschulen     |
| RTM  | Resin Transfer Moulding           |

## **4. Einleitung**

### **4.1. Thema**

Mit unserer Seminararbeit „Vom Einbaum zum High-Tech-Sportgerät“ erarbeiten wir die Geschichte vom ersten Einbaum bis zum heutigen Sportkajak, in Sachen Bootsbau. Wir spezialisieren uns hierbei auf den Leichtbau und dessen Einfluss auf die heutigen Kajaks. Auch die geschichtliche Entwicklung der Faserverbundstoffe, die heutzutage eine große Rolle im Bootsbau spielen, werden wir in der folgenden Dokumentation beleuchten.

### **4.2. Problematik**

Die Problematik liegt bei der Verarbeitung der Werkstoffe. Mit Faserverbundwerkstoffen wird im industriellen Bereich noch nicht sehr lange gearbeitet, so stellt die Verarbeitung unter nicht-industriellen Bedingungen einige Herausforderungen, die es zu meistern gilt.

### **4.3. Zielsetzung**

Das Ziel der praktischen Arbeit ist ein selbst konstruiertes, seetaugliches Kajak aus Faserverbundwerkstoffen zu bauen. Außerdem liegt ein großes Augenmerk auf einer Erweiterung unseres Wissens bezüglich der historischen Hintergründe.

### **4.4. Fragestellung**

Zwar liegen schon einige Erfahrungen bei einem unserer Teammitglieder mit der Verarbeitung von Verbundwerkstoffen vor, jedoch keinesfalls das Wissen der erfahrenen Profis. Somit steht die Frage im Raum, ob es drei Schülern überhaupt gelingen kann, mit laienhaften Mitteln ein Boot anzufertigen, dass nicht nur die Jungfernfahrt überlebt.

## 5. Faserverbundwerkstoffe

### 5.1. Geschichte

#### 5.1.1. Vorbilder in der Natur

Wie bei fast allen neuen Technologien ist die Idee, Fasern zur Verstärkung von Materialien zu verwenden, von der Natur abgeschaut worden. Das Prinzip, dass eine Faser in Faserrichtung um ein vielfaches stärker ist, als gegen die Faserrichtung, macht sich die Natur schon seit es sie gibt zu Nutze. Nimmt man beispielsweise einen Grashalm, so kann man das Prinzip schnell erkennen. Die Pflanzenfasern sind sehr stabil und das Blatt lässt sich in Faserrichtung nur schwer zerreißen. Zwischen den Fasern des Halms ist eine einfache Pflanzenmatrix aufgebaut die dem Zusammenhalt der Faser dient. Somit wird bei geringem Gewicht trotzdem die nötige Stabilität erreicht, dass der Grashalm stehen bleibt und nicht abknickt. So gut wie jede Pflanze beruht auf diesem Prinzip und besteht aus vielen Fasern die durch eine Matrix zusammengehalten werden.

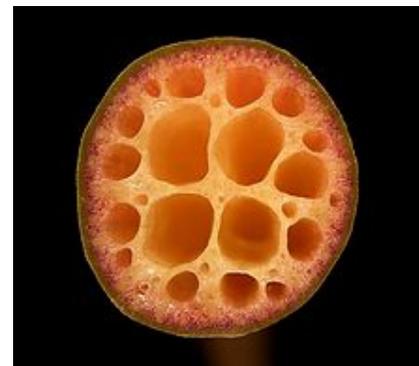


Abb. 5-1: Winterschachtelhalm

Ein großes Vorbild für den Sandwichbau ist der Winterschachtelhalm. Der Pflanzenhalm **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** besteht aus einem äußeren und einem inneren Halm, zwischen denen hauptsächlich Luft liegt. Der innere leichte Kern ist zu vergleichen mit den Schaumkernen eines Sandwichbau-Bauteils. Die harte Äußere Schale aus Pflanzenfasern ist wie die Deckschichten die den Schaum auf beiden Seiten abdecken.

#### 5.1.2. Erste Faserverwendungen

Die Geschichte der Faserverbundwerkstoffe (FVW) geht bis in die Steinzeit zurück. Schon die ersten Siedler machten sich das Prinzip der FVW zu Nutze und wandten dies beim Bau ihrer Hütten an. Das Zusammenspiel zwischen Matrix und Faser wurde schon damals beim Bau der Häuser und Hütten genutzt. Für die Stabilität wurden Stroh oder lange Grashalme unter den Lehm gemischt, der als Matrix diente. Heutzutage steckt die Technik in jeder fast Architektur. In Form von Stahlbeton findet man die Kombination aus haltgebender Matrix und zugfesten Faser (auch wenn diese bei Stahl sehr dick sind) vom kleinen Reihenhaus bis zur kilometerlangen Brücke.

### 5.1.3. *Entwicklung moderner Faserverbundwerkstoffe*

Die Entwicklung der modernen FVW wie man sie heutzutage im Leichtbau findet, geht nicht sehr weit in die Geschichte zurück. Den Beginn der Entwicklung kann man etwa in den 1930ern festmachen. Die Technologie wurde sehr schnell weiterentwickelt da sie sowohl im Militär, als auch der Industrie als neuer Meilenstein galt. Das Militär suchte dringend nach neuen Möglichkeiten die Flugzeuge und Helikopter leichter zu machen, um so mehr Fracht und Waffen transportieren zu können und außerdem bei gleicher Stabilität wendiger und schneller sein zu können. All diese Ansprüche fanden einige Forscher in den FVW.

Einige Firmen erkannten das Potential der Werkstoffe und füllten die vorhandene Marktlücke. Außerdem entstanden im Laufe der Jahre immer neue Firmen, die den wachsenden Bedarf decken. 1935 begann Owens-Corning als erste Firma mit der großtechnischen Herstellung von Glasfasern. Die amerikanische Firma spezialisierte sich ausschließlich auf Glasfasern und war der Vorreiter für alle kommenden Firmen. Das erste Patent zur Herstellung von Epoxidharzen wurde von P. Castan im Jahre 1938 angemeldet. Zu der Zeit typisch war ein Herstellungsverfahren was heutzutage kaum noch verwendet wird. Die Fasern wurden nicht verwebt oder vernäht wie man es von modernen Bauteilen beispielsweise im Autobau kennt, sondern die Matrix wird mit kurzen Fasern vermischt, so dass man eine Art Faser-Brei hat den man dann in der Form verstreicht. In den frühen 40er Jahren wurden die Glasfasern dann hauptsächlich im Bootsbau verwendet, um die boote leichter, stabiler und witterungsbeständiger zu machen. Der Hauptabnehmer war aufgrund recht hoher Produktionskosten das Militär, besonders die Marine der alleierten Staaten im zweiten Weltkrieg. Einer der größten militärischen Einsätze der mit den damals hochmodernen booten durchgeführt wurde war die Landung an der Küste der Normandie 1944. Außerdem startete im gleichen Jahr ein Testflug eines Militärjets, der GFK und Sandwichbauteile verbaut hatte, auf einem Testgelände der Air Force in Amerika. Noch heute führt die Glasfaser den Markt der Faserverbundwerkstoffe mit beachtlichen 90% an. Im Jahr darauf fing man mit der Produktion von Wabenkernen, sogenannten Honeycombs, an, die den Sandwichbau revolutionierten. Mit den Wabenkernen konnte man im Gegensatz zu den bisherigen Kernen aus Balsaholz eine Menge Gewicht sparen und die Druckfestigkeit und Stabilität enorm erhöhen. Einen weiteren Meilenstein legten G. Lubin und W. Greenberg mit der Entwicklung des Faserwickelverfahrens. So konnten erstmals lange Fasern zu gleichmäßigen Profilen und Rohren verarbeitet werden.



Abb. 5-2: 52er Corvette

In den 1950ern schritt die Entwicklung genauso schnell voran wie zuvor. Chevrolet war die Firma, die den Grundstein für alle heutigen Sportwagen legte. Mit der Corvette brachten sie 1952 das allererste Serienfahrzeug mit Karosserieteilen aus GFK auf den Markt. Viele Autohersteller folgten dem Beispiel. Bis heute setzen Automobilhersteller wie zum Beispiel Porsche, Ferrari, Lamborghini und Audi auf die einzigartigen Eigenschaften der FVW.

Die späten 1950er waren geprägt vom Wettstreit der zwei Supermächte Russland und Amerika um die Vorherrschaft im All. Da das herkömmliche Fasermaterial den enormen Anforderungen der Raumfahrt nicht gewachsen war, mussten neue Materialien her. Eine mögliche Lösung sah man darin, Keramik mit den bekannten Fasern zu verbinden. Somit hatte man eine Möglichkeit gefunden, gegen die Hitze beim Wiedereintritt in die Atmosphäre anzutreten. Um dem Material zusätzliche Stabilität zu verleihen wurden zusätzlich Aluminiumbauteile verwendet.

Viele Labore arbeiteten zu der Zeit auf Hochtouren, um neue Faser und Gewebearten zu entwickeln. So gelang es einigen Forscher,n in den USA die ersten Carbonfasern herzustellen. 1959 begann die Massenproduktion der Fasern bei der Union-Carbide. Zu Beginn der 60er entwickelte das Unternehmen Texaco eine neue noch stabilere Faser. Die Boronfaser. Da die Herstellung jedoch extrem kostspielig ist wurde die Faser fast ausschließlich beim Militär (z.B.: Panzerungen) eingesetzt. 1967 gelang der zivilen Luftfahrt ein weiterer Sprung in der Entwicklung von Flugzeugen aus FVW. Windecker Research Inc. wagte den ersten Probeflug in einem fast vollständig aus GFK hergestellten Flugzeug. Damit war der Weg für die Verwendung von FVW im Flugzeugbau geebnet.

Weitere vier Jahre des Forschens vergingen bis es dem Franzosen DuPont gelang eine weitere Faser herzustellen. Diese sollte später eine Lebensrettung für hunderttausende Polizisten und Soldaten schaffen. S. Kwolek hatte schon etwa sieben Jahre zuvor die Basis für DuPonts Erfindung geschaffen. Sie hatte die Aramidfaser entwickelt, der jedoch nie Aufmerksamkeit geschenkt wurde, da sie sehr teuer und ähnliche Eigenschaften zu den günstigeren Carbonfasern hatte. Basierend auf den Aramidfasern stellte DuPont mit einem speziellen Verfahren die Kevlarfasern her. In der richtigen Gewebeform ist das Material bis zu 5mal stärker als Stahl.



**Abb. 5-3: Kevlarweste**  
formen und in vielen anderen Bereichen verwendet.

Durch seine Eigenschaften wird das Material bis heute in fast allen schussicheren Westen, bei Helmen, bei Feuerwehruni-

Ab den späten 70ern lag das Hauptaugenmerk der Forscher nicht mehr auf der Entdeckung neuer Werkstoffe, sondern viel mehr auf der Weiterentwicklung der Fasern. So wurden alle möglichen Kombinationen verschiedener Fasern miteinander getestet und so neue Mischgewebe mit neuen Eigenschaften entwickelt. Diese Hybridgewebe werden bis heute in der Luft- und Raumfahrt, im Sport, in der Medizin und in vielen weiteren Gebieten eingesetzt.

## 5.2. Eigenschaften

Die generellen Eigenschaften von Faserverbundwerkstoffen bestehen im weitesten Sinne darin, dass sie sehr leicht sind und dabei extrem stabil, in so gut wie jede Form gebracht werden können, sowie zum Teil hitzebeständig sind. Verschiedene Fasertypen können in unterschiedlichsten Bereichen eingesetzt werden, je nachdem welche Eigenschaften man braucht und wie teuer der Werkstoff sein darf. Die Stabilität hängt im Grunde auch davon ab, wie fein das Gewebe ist und wie viele Fäden verwebt sind. Des Weiteren kann man Fasern kombinieren, um mehrere gezielte Eigenschaften nutzen zu können.

Im Einzelnen werden wir nun auf die in unserem Projekt benutzten FVW eingehen, die sich auf Glasfasern und Kohlefasern beschränken.

### 5.2.1. Glasfaser

Glasfasern besitzen sogar die Festigkeitseigenschaften von einigen Metallen (zum Beispiel Aluminium-Legierungen), wobei das Gewicht eines Glasfaserlaminates weitaus niedriger ist. Des Weiteren sind Glasfasern bis zu 400°C hitzebeständig und ebenfalls gegen die meisten Chemikalien und Witterungseinflüsse beständig. Das an sich spröde Glas besitzt in Faserform eine sehr hohe Flexibilität und Bruchsicherheit. Die am häufigsten verwendete und hergestellte Glasfasersorte, das E-Glas, besitzt eine sehr gute elektrische Leitfähigkeit. So steht das 'E' in E-Glas für Elektro. Es wurde ursprünglich in der Elektro-Industrie eingesetzt und kann durch verschiedene Zusätze die gewünschten Eigenschaften des Endproduktes erfüllen. Eine der durchaus sehr vorteilhaften Eigenschaft ist, dass es sich, wenn es sich erhitzt nicht ausdehnt oder gar zusammenzieht. Es bleibt in seiner Ursprungsform erhalten. Wie bereits oben angesprochen ist Glasfaser nicht brennbar. Wird es jedoch mit organischen Mitteln verändert, so wird auch das Brandverhalten geändert. Dennoch haben Textilglasgewebe eine hohe Restfestigkeit nach Temperaturschlägen. Bei 24-stündiger Lagerung bei Temperaturen von bis zu 200°C bleibt die Restfestigkeit unverändert bei 100% . Diese geht erst vollkommen verloren, wenn das Textilglasgewebe 24 Stunden in einem Raum mit 700°C gelagert wird. Glas weist eben-

falls sehr gute chemische Eigenschaften auf. Es ist beispielsweise gegen Öle, Fette und Lösungsmittel beständig und weist eine gute Beständigkeit gegenüber Säuren und Laugen bis zu pH-Werten von 3-9 auf. Sowohl Säuren als auch Laugen tragen die Glasoberfläche langsam ab. Allgemein kann man Glasfasern noch in 6 verschiedene Sorten unterteilen, die jeweils andere Eigenschaften aufweisen.

- a) **E-Glas** ist durch das optimale Preis-Leistungsverhältnis das am meist verwendete Material.
- b) **H-Glas** ist durch Hohlglasfasern ein speziell leichteres Glas.
- c) **R, S-Glas** ist für erhöhte mechanische Anforderungen ausgelegt.
- d) **D-Glas**, auch bekannt als Borsilicatglas, ist für erhöhte elektrische Anforderungen konzipiert.
- e) **C-Glas** steht für eine erhöhte chemische Widerstandfähigkeit.
- f) **Quarzglas** steht hingegen für hohe Temperaturbeständigkeit.

Viele Eigenschaften von Glasfasern werden auch dadurch bestimmt, wie das Gewebe gewoben wurde (Bindungsart), beziehungsweise wie die Garnfeinheit und Einstellung, das heißt die Fadenanzahl auf einen Zentimeter betrachtet, ist.

### 5.2.2. Kohlefaser

Kohlefaser, in der Fachsprache häufig Carbon genannt, weist ebenfalls eine sehr hohe Festigkeit auf, wobei es gegenüber Glasfaser noch um einiges leichter ist. Trotz der hohen Festigkeit besitzt Carbon nur eine sehr geringe Dichte, womit erklärt ist, warum Carbon so leicht ist. Zu den dynamischen und mechanischen Eigenschaften ist zu sagen, dass es trotz der hohen Stabilität verhältnismäßig elastisch ist. Des Weiteren verfügt es über eine geringe Kriechneigung und auch über eine gute Schwingungsdämpfung. Einer der wichtigsten Punkte hierbei ist jedoch, dass das Material eine sehr geringe Materialermüdung hat. Alles in allem heißt das, dass die Festigkeit, die der meisten Metalle übertrifft und Carbon nicht nur vollelastisch, sondern auch ermüdungsbeständig und vibrationsdämpfend ist. Zu den Chemischen Eigenschaften ist zu sagen, dass Carbon nicht korrosiv ist, da es praktisch kein Wasser aufnimmt. Es weist ebenfalls eine hohe Beständigkeit gegenüber Säuren, Alkalien und organischen Lösungsmittel auf. Zudem sind Kohlenstofffasern unbrennbar und sind unter Sauerstoffausschluss stabil bis hin zu 3000°C. Mit Sauerstoff erfolgt jedoch eine Oxidation ab etwa 400°C, die zu Festigkeitsverlusten führt. Da Carbon keinerlei Metalle oder gar Eisen beinhaltet, hat es den großen Vorteil nicht magnetisch zu sein. Der Vorteil hierbei besteht darin, dass man beispielsweise Prothesen damit herstellen kann und man sich dann mit dieser immer noch gut röntgen lassen kann.

Es hat also eine nur sehr geringe Röntgenstrahlenabsorption. Obwohl Carbon keine Metalle beinhaltet, besitzt es eine relativ gute elektrische Leitfähigkeit.

Die gängigen Arten von Carbonfasern lassen sich in sechs Fasertypen unterteilen. Als die klassischen Hochleistungskohlenstofffasern-Typen gelten die HTA und die HTS Fasertypen. Das HT steht hierbei für "High Tenacity" und liefert exzellente und ausgewogene mechanische Lamineigenschaften. Der spezielle Typ STS ist für moderne Industrie Anwendungen konzipiert und lässt sich somit in allen herkömmlichen Prozessen verarbeiten. Für die speziellen Anwendungen und Anforderungen der Belastbarkeit, das heißt zur Thematik der Festigkeit und der erhöhten Bruchdehnung werden "Ultra High Tenacity" Fasern, abgekürzt UHTS genannt, benutzt. Der Fasertyp IMS, ausgesprochen "Intermediate Modulus, ist für Anwendungen geeignet, die eine sehr hohe Steifigkeit bei gleichzeitig erhöhter Zugfestigkeit erfordert. Zu guter Letzt haben wir noch den Fasertyp UHM, der für "Ultra High Modulus" steht. Dieser Fasertyp steht für Anwendungen, die eine überlegene Steifigkeit für die Leistungsfähigkeit des Bauteils erfordern.

### 5.3. Herstellung

#### 5.3.1. Herstellung der Glasfasern

Zur Produktion der Fasern wird das Schmelzspinnverfahren angewandt. Generell wird hier zwischen vier unterschiedliche Verfahren getrennt.

##### a) Düsenziehverfahren

Bei dem Düsenziehverfahren werden direkt Fasergarne hergestellt. Das geschmolzene Material fließt unter Ausnutzung der Schwerkraft durch hunderte Düsenbohrungen einer Platinspinnplatte<sup>1</sup>. Die Faserfäden können hierbei in unbegrenzter Länge mit einer Geschwindigkeit von bis zu 3-4 km/Minute gezogen werden, was etwa 240 km/h entspricht.

##### b) Stabziehverfahren

Faservliese und Textilfasergarne werden hauptsächlich mit dem Stabziehverfahren hergestellt. Hierbei werden mehrere Glasstäbe mit einem Durchmesser von circa 3 bis 8 mm nebeneinander in ein Werkzeug eingespannt. Durch eine Brennflamme werden im folgenden Verfahren die Enden der senkrecht hängenden Stäbe so erhitzt, dass sie sich erweichen.

---

<sup>1</sup> Platte mit tausenden Mikrolöchern

Durch das Wirken der Schwerkraft löst sich ein sehr zähflüssiger Tropfen von der Stange ab und zieht in Folge dessen einen Faden hinter sich her, der anschließend sehr schnell erstarrt. Die Fäden heften sich nun an eine sich rotierenden Trommel, von der sie aufgewickelt wird. Am Ende erhält man Stapelfasern.

Entsprechend der abgeschmolzenen Glasmasse werden die Glasstäbe in den Wirkungsbereich der Bren Flamme geschoben. Dieses Verfahren ist jedoch sehr umständlich, da die Glasstäbe nach komplettem Verbrauch erneuert werden müssen. Da dies ein Zeitverlust bedeutet und somit Kosten mit sich bringt wird dieses Verfahren nicht sehr oft angewendet.

### **c) Schleuderverfahren**

Das Schleuderverfahren wird allgemein in ein zweistufiges Schleuderblasverfahren aufgeteilt, das zur Herstellung von gleichmäßigen und schmelzperlenfreien Glasfasern eingesetzt wird, welche meist als Dämmstoffe benutzt werden. Mit diesem Verfahren werden nur sehr kurze Glasfasern erzeugt. Durch eine Bodenöffnung in einer Glasschmelzwanne fließt ein dünnflüssiger Glasstrang mit einer Dicke von etwa 10mm auf eine sich ständig drehende horizontale Scheibe mit Ringmantel. Durch Wegschleudern vom Rand der Scheibe bilden sich einzelne Glastropfen, von denen jeder einen Faden hinter sich herzieht. Durch die Bewegung der Scheibe, gleitet der Tropfen herunter und dehnt sich aus.

Durch die zuvor beschriebene Zentrifugalkraft wird der Schmelzstrahl unter Mitwirkung eines Luftstromes zu einzelnen sogenannten Mineralfasern zerlegt, die als Rohfilz letztendlich gesammelt. Um die Scheibe herum sinkt ein schlauchartiges Fasergebilde herab, das anschließend aufgeschnitten wird. Zuletzt werden noch die Tropfen von den Fasern getrennt.

### **d) Düsenblasverfahren/Sillanverfahren**

Das Düsenblasverfahren, auch Sillanverfahren genannt, ist ein sehr neues Verfahren und ist für die Herstellung von sehr feinen aber langen Fasern konzipiert.

Aus einer Glasschmelzwanne mit starken Düsen am Boden werden mithilfe von Dampf, der die unterhalb der Düsen entstehenden flüssigen Glasfäden mit hohem Druck und Geschwindigkeiten bis zu 100 m/s vorantreibt, senkrecht nach unten feine Fasern gezogen. Durch diesen Prozess ist die Herstellung langer Fasern möglich.

### 5.3.2. Herstellung der Kohlefasern

Reiner, Elementarer Kohlenstoff kommt in der Natur lediglich in Form von Diamanten und Graphit vor, da dieser unlöslich und unschmelzbar ist, scheidet es dadurch als Rohstoff zur Produktion von Kohlefasern aus. Da Kohlefaser jedoch aus rund 95% reinem Kohlenstoff besteht stellte dies vorerst ein Problem dar. Man kam darauf, dass man Kohlefasern durch ein Verfahren namens Pyrolyse, auch Verkokung genannt, von nicht schmelzbaren Kohlenstoff-Polymerfäden herstellen kann. Das Verfahren zielt darauf ab, eine durchgehende Kohlenstoffkette zu bilden, die dann als Ausgangsfäden, Precursor genannt, bezeichnet werden. Nach dem Spinnen der Roh-Fasern werden die verknäulten Polymerketten in Faserrichtung ausgerichtet. Das Umwandeln zur Kohlenstofffaser erfolgt anschließend in drei Einzelstufen. Zuerst findet eine Voroxidation in einer O<sub>2</sub>-haltigen Atomsphäre bei circa 200-300°C statt, wobei die Fasern dauerhaft unter Spannung gehalten werden müssen. Als nächstes erfolgt die Pyrolyse, auch Carbonisierung genannt, die unter Vakuum und einer Hitze von 800-1500°C stattfindet. Zuletzt kann man noch eine Hochtemperaturbehandlung (Härtung) bei 2000-3000°C vornehmen. Die jeweilige Temperaturhöhe und die angelegte Vorspannung bestimmen die Eigenschaften und damit auch die späteren Anwendungsbereiche. Die Faseroberfläche ist sehr hoch, denn wenn man beispielsweise ein Faserdurchmesser von 7µm und ein Faservolumenanteil von 50% annimmt, ergibt sich für 1cm<sup>3</sup> Laminat eine ausgerechnete Faseroberfläche von 2800cm<sup>2</sup>.

### 5.3.3. Herstellung des Gewebes

Die Herstellung der Gewebe ist relativ faserunabhängig, da sie alle den Anforderungen der Webmaschinen genügen. Eine der bekanntesten Firmen hier im Umkreis, die Webmaschinen herstellt, ist die Firma Dornier, in Lindau. Sie stellen Webmaschinen aller Art her, so auch Webmaschinen für das Weben von Textilfasergewebe.

#### a) Fasergewebe

Bevor die Webmaschine ihren Dienst antreten kann, ist es zuerst notwendig aus den einzelnen Fasern ein sogenanntes Filamentgarn herzustellen. Man nimmt etwa 100 der Fasern und bündelt sie zusammen. Anschließend wird dieses Bündel mit einer Schutzdrehung versehen und erst dann kann das Filamentgarn zu dem gewünschten Gewebe weiterverarbeitet werden. Außer dem Fasergewebe gibt es aber noch drei andere Gewebetypen.

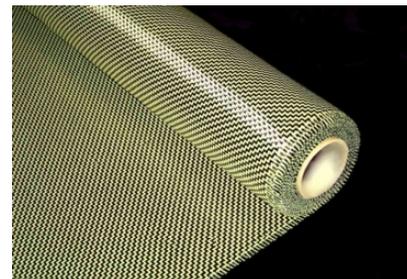


Abb. 5-4: Aramid-Carbon Hybridgewebe

Man unterscheidet hier zwischen dem Rovinggewebe, dem Fasergelege und den Fasermatten.

### b) Rovinggewebe

Rovings an sich bestehen aus einem oder mehreren fast parallel liegenden Fasern, die ohne Drehung zu einem Strang gebündelt sind. Die Rovings werden anschließend zu Rovinggeweben, also geschnittenen Textilfasern, auch Faserschnitzeln genannt, Matten und Kurzfasern weiterverarbeitet. Bei verschiedensten Herstellungsverfahren, wie beispielsweise beim Wickeln und Profiliziehen werden Rovings direkt als Verstärkung verwendet. Besondere Bedeutung haben die aus Textilrovings gefertigten Rovinggewebe, denn mit ihnen lassen sich sehr dicke Formteile, zum Beispiel im Formenbau, aus wenigen Lagen herstellen. Der Fasergehalt und somit auch die Festigkeit ist weitaus höher als die bei Mattenlaminaten (die später noch beschrieben werden), jedoch geringer als bei Filamentgeweben.



Abb. 5-5: Aramidroving

### c) Fasergelege

Das Fasergelege besteht aus einzelnen Strängen parallel angeordneter Fasern, die wiederum parallel aneinander angeordnet sind und im Regelfall in mehreren Schichten miteinander vernäht sind. Bei einem biaxial angeordnetem Gelege spricht man von zwei Lagen parallel liegender Fasern, die in einem bestimmten Winkel angeordnet sind. Durch das Vernähen der Stränge und der damit verbundenen hohen Materialstärke sind die Gelege nur in einem gewissen Rahmen formbar.

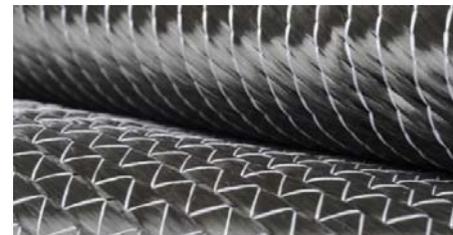


Abb. 5-6: Carbongelege

### d) Fasermatten

Fasermatten stellen die einfachste Faserverarbeitungsmethode da, da sie keine vorgeschriebene Anordnung in ihrer Struktur haben. Man kann diese Fasermatten optisch sehr gut mit Fließ vergleichen, da es in etwa die gleiche Struktur hat. Die Fasern in dieser regellos angeordneten Fasermatte sind in etwa 50 mm lang, je nach Produzent und Anforderungen.



Abb. 5-7: Glasfasermatte

## 5.4. Funktionsweise

Mit der Funktionsweise wollen wir in diesem Kapitel noch auf das Zusammenspiel von der Matrix und dem Gewebe eingehen. Im Falle einer Belastung in Form von einer konzentriert angebrachten Zugkraft, ist es unmöglich sie direkt an den Fasern angreifen zu lassen, da diese ja im Endprodukt immer mit Matrix beschichtet sind. Die Matrix funktioniert jedoch so, dass sie die Form von konzentrierten Spannungen durch die Zugkraft an die nächstliegenden Fasern abgibt und somit auch gut aufteilt. Die Größe dieses sogenannten Ausbreitungsfeldes, was der Oberbegriff für die mitwirkende Länge einer Faser ist, hängt ganz vom Spannungsverhältnis zwischen Faser und Matrix ab. Wenn man beispielsweise eine weiche Matrix mit steifen Fasern kombiniert, ergibt diese Kombination eine große mitwirkende Länge. Nimmt man hingegen eine steife Matrix kombiniert mit weichen Fasern erhält man eine kleine mitwirkende Länge.

Im Falle eines längs zum Faserverlauf wirkendem Drucks, wie er beispielsweise beim Biegen auftritt, funktioniert die Matrix als Bettung für die Faser, während die Faser selbst wie ein elastischer Balken wirkt. Wichtige Materialeigenschaften sind hierzu je nach Biegung und Anpassungszweck die Materialsteifigkeit und die Biegesteifigkeit der Fasern. Die Berechnung zur genauen Zusammensetzung von Materialsteifheit und Biegesteifigkeit der Fasern ist sehr komplex und schwer, da außer der Zugfestigkeit der Fasern auch deren Durchmesser entscheidend ist, weil hier auch die Einheit des sogenannten Flächenträgheitsmomentes spielt eine große Rolle.

Die Genauen Zusammensetzungen werden nun schon seit dem 20sten Jahrhundert erforscht, stellen aber noch heute eine wissenschaftliche Herausforderung dar. Durch neuartige Rechenprogramme und dem Einsatz von modernen Computern wird gegenwärtig versucht, die theoretischen Ergebnisse ins Praktische umzusetzen. Die Problematik hierbei liegt jedoch einerseits darin, dass es sich um ein Stabilitätsproblem handelt und dadurch auch nur geringste Abweichungen in der Werkstoffzusammensetzung immense Auswirkungen auf die Belastbarkeit haben können, als auch darin, dass das Versagen eines hoch entwickeltem Mehrphasenstoffes in vielfältigen Weisen geschehen kann. Außerdem wechseln sich unterschiedliche Mechanismen während des Versagens ab und verursachen sich teils gegenseitig.

## 5.5. Verschiedene Materialien

### 5.5.1. Fasern / Gewebe

Zu den wichtigsten FVW zählen Carbon, Glasfaser und Aramid. Zusätzlich werden auch häufig andere Werkstoffe mit diesen Stoffen kombiniert, wie z.B. Keramik. Diese Werkstoffe werden in vielen verschiedenen Webmustern hergestellt. Dazu gehören das bekannte Köpermuster, Biaxialmuster, Unaxialmuster, Multiaxialmuster usw. Aramid kann außerdem der Grundstoff für Wabenstrukturen, die im Sandwichbau gebraucht werden sein. Außerdem wird er nach einer speziellen Webweise auch Kevlar genannt. Kevlar wird ebenso häufig im Leichtbau verwendet.

Der Gewebetyp bestimmt sehr oft den späteren Einsatzbereich, da hiervon beispielsweise abhängt, was für Eigenschaften das spätere Produkt hat. Wenn man zum Beispiel eine gewisse Steifigkeit bei Flügeln eines Flugzeugs braucht, der jedoch sehr leicht sein sollten, benutzt man Carbon, da dieses beide Eigenschaften mit sich führt.

### 5.5.2. Harze

Eine Harz-Einbettung, in der Fachsprache Matrix, ist das Reaktionsharz, das als Bindemittel funktioniert und die Aufgabe hat nicht nur jede Faser zu stützen, sondern auch dafür sorgt, dass die auf das Formteil einwirkenden Kräfte auf jede Faser verteilt werden. Dies ist natürlich in Verbindung gestellt mit einer guten Haftung des Harzes auf den Fasern. Die Matrix besteht immer aus einem Harz-Härter System. Das Reaktionsharz bestimmt im folgenden Herstellungsprozess beispielsweise Eigenschaften, wie die Chemikalienfestigkeit, die Alterungsbeständigkeit, die Kratzfestigkeit, die elektrischen Eigenschaften sowie den Schwund beim Härten. Im Allgemeinen spricht man von drei unterschiedlichen Harzen und die damit verbundenen Reaktionsarten.

#### a) ungesättigte Polyesterharze

Da wären als Erstes die ungesättigten Polyesterharze, die unter Einfluss von gewissen Reaktionsmitteln, wie zum Beispiel Peroxiden und Beschleunigern als Doppelbindungen der Ausgangskomponenten unter Freiwerden von Reaktionswärme miteinander reagieren. Nach zugeben von Reaktionsmitteln benötigen die Polymerisationsreaktion eine gewisse Zeit um anzulaufen. Die Reaktionsmasse läuft anschließend sehr schnell und ohne Freiwerden von flüchtigen Produkten von Statten. Unter Erwärmung und raschem Ansteigen der Viskosität geht die Reaktionsmasse von dem festen in den flüssigen Zustand über. Wenn der Reaktionsvorgang erst einmal eingeleitet ist, kann dieser nicht mehr angehalten oder gestoppt werden und ist irreversibel.

### **b) Epoxyd-Harze**

Wesentlich größere Mengen von Reaktionsmitteln (Härter) werden dem Reaktionsharz hinzugefügt, wenn es sich um eine Polyaddition handelt, was im Gegensatz zur Polymerisation steht. Hier kann man auch erkennen, dass die Eigenschaften des Endproduktes sowohl von den Reaktionsmitteln abhängt, als auch von dem eingesetzten Reaktionsharz. Bei dieser Art des Verfahrens vollzieht sich der Übergang vom flüssigen in den festen Zustand im Allgemeinen langsamer, dadurch aber auch gleichmäßiger als bei einer Polymerisation. Jedoch läuft auch diese Reaktion exotherm und gibt somit Wärme ab. (Diese Methode wurde auch in unserem praktischen Teil angewandt, da uns die längere Aushärtungszeit die Möglichkeiten bietet, das Laminieren in Ruhe anzugehen. Außerdem bearbeiten wir eine große Fläche von Hand, was eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt.)

### **c) Phenolformaldehyd-Harze**

Im wesentlichen Gegensatz zu den vorherigen Verfahren reagieren hier die Ausgangskomponenten unter Abspaltung, also Aussonderung von Nebenprodukten, wie beispielsweise Wasser. Dies hat einen gewissen Kostenfaktor da diese Nebenprodukte abgesaugt oder auf eine andere Weise aus der Reaktion entfernt werden müssen. Ebenfalls kann man bei diesem Verfahren die Reaktion stufenweise ablaufen lassen, was zur Eliminierung des Nachteils von Zeitdruck führt. Im Allgemeinen werden bei diesem Prozess vorkondensierte Harze verarbeitet, zu deren Aushärtung jedoch noch ein Reaktionsanstoß in Form von Wärme notwendig ist.

## **5.6. Verarbeitungsverfahren**

Bei den Verarbeitungsverfahren von FVW kann man zwischen zwei grundlegenden Verfahren unterscheiden. Erstens den Laminaten und zweitens den Spritzpressteilen. Letzteres ist recht einfach zu erklären. Es handelt sich hierbei um kurzes Fasermaterial das mit Druckluft in die vorimprägnierte Form gespritzt wird. Dieses Verfahren findet sich häufig bei der Verstärkung von Karosserie-, Form und Bootteilen wieder.

Bei den Laminierverfahren gibt es einige Unterschiede.

### a) Handlegeverfahren

Das herkömmliche Handlegeverfahren ist das einfachste aller Verfahren. Hierbei wird das Fasermaterial Lage für Lage in die Form gelegt und zwischendurch immer wieder mit Epoxy getränkt. Das Verfahren wird hauptsächlich im Formenbau verwendet, da es hier nicht wirklich auf die Stabilität des Materials ankommt. Ein großer Nachteil des Verfahrens ist der enorme Materialverbrauch und eventuelle Sollbruchstellen durch Luftblasen. Auch wir verwendeten dieses Verfahren beim Bau unserer Form.



Abb. 5-8: Handlegeverfahren

### b) Handlegeverfahren mit Vakuum

Der Vorgang des Laminierens ist genau gleich wie das oben beschriebene Handlegeverfahren. Der Unterschied liegt im Härteprozess und im Ergebnis. Bevor der Kleber aushärtet, muss ein Abreißgewebe, eine Lochfolie, das Vakuumfließ und die Vakuumfolie über das Laminat gelegt werden. Sobald die Vakuumfolie überall dicht anliegt, wird mithilfe einer Vakuum Pumpe ein Vakuum erzeugt. Das Vakuum sorgt für enormen Druck, der nun während des kompletten Härteprozesses auf dem Werkstück ruht. Durch den kompletten Entzug der Luft werden Blasen im Material verhindert. Das Verfahren wird hauptsächlich im Prototypenbau und in Kleinserien angewandt. Aber auch beim Bau von bis zu 90 Meter langen WKA-Flügeln kommt das Verfahren zum Einsatz. Auch wir benutzten das Handlegeverfahren mit Vakuum für den Bau unseres Kajaks.



Abb. 5-9: Handlegeverfahren mit Vakuum

### c) Prepreg



Abb. 5-10: Prepreg-Gewebe

Bei diesem Verfahren sind die Fasermaterialien vorimprägniert. Das heißt das Auftragen von Kleber ist nicht mehr nötig. Wegen der Einfachheit des Verfahrens wird es häufiger benutzt. Da die Fasermaterialien jedoch deutlich teurer sind als herkömmliche Gewebe, wird es für den Weg in die Industrie noch einige Zeit brauchen. Bis jetzt wird es hauptsächlich für Einzelanfertigung und zum Überlaminieren fertiger Bauteile verwendet.

### d) Vakuuminfusion

Ähnlich wie das Handlegeverfahren mit Vakuum wird auch hier das Gewebe in die Form gelegt und ein Vakuum gezogen. Jedoch werden bei diesem Herstellungsverfahren die Gewebe im trockenen Zustand in die Form gelegt und zwischen das Abreißgewebe kommt eine zusätzliche Flusshilfe für das Harz. Auf die gegenüberliegende Seite des Schlauches, der die Luft aus der Form saugt, liegt ein zweiter Einlass durch den das Harz aus einem Behälter gleichzeitig in die Form hinein gezogen wird. Diesen Schritt nennt man die Harzinjektion. Der Vorteil des Verfahrens gegenüber den anderen Verfahren ist die Sicherheit, dass schon bevor die Fasern mit der Matrix in Berührung kommen ein komplettes Vakuum herrscht. Das heißt die fertigen Bauteile sind meistens noch stabiler und zuverlässiger. Außerdem spart man bei der Herstellung durch vorheriges ausrechnen des Faser- volumengehaltes deutlich an Material. Dieses Verfahren wird sehr häufig in der Industrie eingesetzt und hat sich hier bewährt.



Abb. 5-11: Vakuuminfusion

### e) RTM

Das RTM-Verfahren ermöglicht eine extrem schnelle Fertigung von Bauteilen mit nur einem Werkzeug. Es handelt sich hierbei um eine große Presse die das Bauteil gleichzeitig presst, beheizt und injiziert ein Vakuum. Zuerst aber werden die Bauteile trocken vorgeformt, das sogenannte Preforming. Hierbei werden die trockenen Gewebeschichten aufeinander gelegt und in die ungefähre Form gepresst. Anschließend werden die vorgeformten Teile in das RTM-Werkzeug eingelegt. Hier findet zuerst die Vakuuminfusion statt. Gleichzeitig drückt die Presse mit mehreren tausend Tonnen auf das Werkstück. Zu guter Letzt heizt das Werkzeug auf ca. 200-400°C, was eine schnelle Aushärtung des Harzes zur Folge hat. Mit diesem Verfahren können Serienteile in weniger als 30 Minuten hergestellt werden was sehr beachtlich ist bei einer gewöhnlichen Aushärtung von ca. 24 Stunden. Das Verfahren wird in der Serienfertigung bei A.C.E. eingesetzt-



Abb. 5-12: RTM-Pressen bei ACE

## 5.7. Heutige Anwendungsbereiche

Die heutigen Anwendungsbereiche erschließen sich über ein sehr weites Spektrum von Möglichkeiten. In der Vergangenheit wurden Faserverbundwerkstoffe lediglich in der Luft- und Raumfahrttechnik eingesetzt, da sie noch sehr neu und nur einzeln produziert und hergestellt wurden. Ein anderer Punkt war, dass durch die nur sehr geringe Produktion, die Faserverbundwerkstoffe sehr teuer waren und in anderen Bereichen wie zum Beispiel der Autotechnik noch nicht verwendet wurden.

### a) Raumfahrt

Nun gehen wir jedoch näher auf die einzelnen Anwendungsbereiche ein und beginnen auch gleich mit der Raumfahrttechnik. Die Haupteinsatzgebiete hierbei sind Bereiche wie Antennenkomponenten, Satellitenstrukturen, Druckbehälter, Parabolspiegel, Hohlleiter, Gestelle für optische Geräte und Messapparaturen. In diesem Anwendungsbereich spielt das Gewicht und eine gewisse Stabilität eine sehr große Rolle. Wie man sich vorstellen kann ist es sehr wichtig das Gegenstände die in das Weltall befördert werden müssen, nicht unbedingt viel wiegen sollten, da jedes unnötige Kilogramm hohe Kosten verursacht. Durch das perfekte Zusammenspiel von Stabilität und geringem Gewicht sind FVW daher das ideale Material. Des Weiteren ist es



Abb. 5-13: Teil eines Satelliten

wichtig, dass sich die Materialien nicht von Hitze oder Kälte ausdehnen beziehungsweise zusammenziehen, da dies zu folgeschweren Schäden an beispielsweise Satelliten führen könnte. Ein weiterer Aspekt ist die fast unbegrenzte Formbarkeit des Materials.

### b) Luftfahrt

In der Luftfahrt sind FVW ein sehr häufig verwendetes Material. Aus ihnen werden von Sekundärstrukturen, wie Fußböden und Wandverkleidungen, über Primärstrukturen wie Leitwerke bis hin zu kompletten Rümpfen hergestellt. Außerdem werden auch Hohlkonstruktionen wie Tragflächen, als auch Hubschrauberzellen Rotorblätter sowie Flugzeugpropellern und Tanks aus FVW



Abb. 5-14: Boeing 787 Dreamliner. Der komplette Rumpf und die Flügel bestehen aus FVW

gefertigt. Die Anforderungen sind auch hier sehr hoch und präzise zu erfüllen. Wie auch bei der Raumfahrt, spielt in der Luftfahrt das Gewicht eine entscheidende Rolle. Um die Flugkörper in die Luft zu bekommen ist es essenziell wichtig, dass sie so wenig Gewicht wie möglich besitzen. Jedoch noch mehr als in der Raumfahrt spielen hier die ausgezeichneten statischen und dynamischen Fähigkeiten eine große Rolle. Beispielsweise dürfen sich Tragflächen kaum biegen, da es sonst zu Schwingungen und Turbulenzen kommen kann. Weiterhin ist die Ermüdungsbeständigkeit des Materials ein wichtiger Faktor. Ein weiterer Vorteil gegenüber Metallen ist die Korrosionsbeständigkeit, die die Faserverbundwerkstoffe mit sich bringen. Dadurch kann man sich auch Lackierungen oder spezielle Legierungen sparen.

### c) Sport und Freizeit

Im Themenbereich Sport und Freizeit werden Faserverbundwerkstoffe oft genutzt, wenn es darum geht, leichter und somit schneller zu sein. Anwendungsbereiche hierbei wären beispielsweise der



Abb. 5-15: Wildwasserkajak aus CFK

Modellbau, der Boots- und Surfbrettbau, was unsere Ausarbeitung des Projektteils beinhaltet, das Skifahren und Snowboarden, Schlägerbau in jeglichen Bauarten so wie viele weitere Bereiche. Sehr wichtige Eigenschaften in diesen Bereichen ist, wie bereits vorhin angesprochen die immense Gewichtseinsparung. Beispielsweise beim Bootsbau steht der Vorteil von weniger Gewicht im direkten Zusammenhang mit der Geschwindigkeit. Mit weniger Gewicht hat man automatisch auch weniger Tiefgang und kann somit schneller vorankommen, da das Boot weniger Wasserwiderstand ausgesetzt wird. Auch für Windsurfer ist es ein Vorteil, da sie durch die Gewichtseinsparung bei Tricks länger in der Luft bleiben können. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die gute Formbarkeit, die man bei der Verarbeitung mit FVW erzielen kann. Dies ist speziell im Modellbau sehr wichtig und gefragt. Um Kleinteile herstellen zu können, muss man Materialien zur Verfügung haben die sehr stabil aber in der Produktion sehr gut anpassbar sind. All diese Vorteile sind hierbei gegeben. Im Anglersport ist noch eine gewisse Flexibilität aber auch Stabilität erforderlich. Eine Angelrute muss sich etwas biegen lassen, darf aber in keinem Fall den Zugkräften bei einem Biss nachgeben und brechen.

#### d) Fahrzeugbau und Verkehrstechnik

Beim Themenbereich Fahrzeugbau und Verkehrstechnik sind wir bei dem am meisten gefächert genutztem Anwendungsspektrum, dass in der heutigen Zeit bekannt ist. Die Anwendungsmöglichkeiten sind schier unbegrenzt. Um sich einen Eindruck machen zu können, sind hier ein paar der vielen Anwendungsmöglichkeiten: großflächige Karosserieteile, Tanks, Kardanwellen, Blatt- und Spiralfedern, Drehstäbe, Stoßtangen, Chassisrahmen, Bremsscheiben, Versteifungselemente, Zwischenwände und Verkleidungen bei Eisenbahnwaggons und LKW- Aufbauten. Zu den großen Vorteilen, auch in finanzieller Sicht gesehen, spielt auch hier wieder das Gewicht eine Rolle. Durch besonders niedriges Gewicht kann hier eine große Kraftstoffeinsparung erzielt werden. Außerdem ist das Gewicht gerade im Rennsport und in Luxuswägen oder auch Motorrädern ein ausschlaggebender Vorteil, da hier, wie auch im Bootsbau, durch leichteres Gewicht eine höhere Geschwindigkeit erzielt wird.

Heutzutage werden schon ganze Autochassis mit einem Gewicht von 14 Kilogramm hergestellt, was im Vergleich zum Metallchassis eine sehr immense Gewichtsersparnis bedeutet. Auch in Rennsportarten wie der Formel 1 sind Faserverbundwerkstoffe ein Muss geworden und sorgen nicht nur für noch schnellere Beschleunigungen, sondern sind überlebenswichtig bei Kollisionen.



Die Nase eines Formel 1 Wagens ist so konstruiert, **Abb. 5-16: Formel 1 Wagen von Renault**

dass sie sich bei einem frontalen Aufprall wortwörtlich in Staub auflöst und so die komplette Wucht des Aufpralls absorbiert. So bleibt der Fahrer in seinem Cockpit, welches ebenfalls aus Kohlefaser besteht, jedoch mit anderen viel stabileren und bruchsaferen Fasern gebaut wird, unversehrt. Auch hier trägt die Formbarkeit des Materials eine große Gewichtung, da es oft zu Eigenherstellung kommt und somit auch automatisch zu jeweils individuellen Unikaten. Um diese herstellen zu können ist es wichtig, dass sie gut und einfach formbar, sowie anzufertigen sind. Wie auch in der Luftfahrt ist es im Fahrzeugbau sehr wichtig, dass Karosserien und andere Bauteile eines Fahrzeuges korrosionsbeständig sind, da sie meistens täglich Wasser und Wind, als auch im Winter Salz ausgeliefert sind.

### e) Energietechnik

Selbst in der Energietechnik und ganz besonders bei den erneuerbaren Energietechniken sind nun auch die Faserverbundwerkstoffe ein essenzieller Teil geworden. Die größte Rolle dabei spielen sie



Abb. 5-17: Fertigung eines Rotorblattes von einer WKA

bei der Windkraft, da die Flügel der Windkraftanlagen fast komplett aus Glasfaser bestehen. Des Weiteren werden mit FVW noch Windkanalgebläse, wie auch Gasleitsysteme hergestellt. Ein wichtiger Punkt bei Windenergieanlagen ist die dynamisch hohe Belastbarkeit die das Material mit sich bringt, es sorgt dafür das sich die Flügel der Windkraftanlage nicht biegen können und sorgt zusätzlich durch seine Leichtigkeit dafür, dass sich die Flügel im Wind auch bewegen und nicht durch zu schwere Flügel einfach stehen bleiben. Durch die lange Lebensdauer

des Materials müssen die Flügel nicht ausgetauscht oder repariert werden, was einen sehr großen Vorteil bietet. Da die Installation von diesen Windkraftanlagen sehr Zeit- und Kostenintensiv ist, würde sich die Produktion von Strom mit Windkraftanlagen nicht lohnen, wenn man diese öfter reparieren oder die Flügel komplett austauschen müsste. Die lange Lebensdauer hängt auch direkt mit der Eigenschaft zusammen, dass Faserverbundwerkstoffe korrosionsbeständig sind und damit nicht rosten.

### f) Maschinen- und Anlagenbau

Die Einsatzbereiche der Faserverbundstoffe im Maschinen- und Anlagenbau sind sehr breit gefächert und bieten viele Möglichkeiten. Ein paar Beispiele hierzu sind schnell bewegte Teile in Verpackungs-,



Abb. 5-18: Anlagenteil aus CFK

Druck-, Stick- und Webmaschinen, Transportbehälter, Rohrleitungssysteme, Rührwerke, Pumpenelemente und Pumpengehäuse. Da man beim Maschinen- und Anlagenbau die verschiedensten Anwendungsmöglichkeiten hat, da man das Material so individuell benutzen kann, sind hier auch ziemlich alle Eigenschaften der Faserverbundwerkstoffen in den verschiedensten Kombinationen gefragt. Beispielsweise hohe Schwingfestigkeiten, damit ein Rührwerk seine Arbeit gut und ordentlich

verrichten kann, oder eine gewisse Wartungsarmut, damit in sehr komplexen Maschinenabläufen der Betrieb nicht komplett angehalten werden muss, um ein einzelnes Teil auszubauen. Weiterhin wichtig ist, dass sich Fabriken die mit Chemikalien arbeiten und FVW als Rohrleitungssystem benutzen, sicher sein können, dass die Rohrleitungen halten und während des Prozesses dicht bleiben. Des Weiteren müssen sie eine einfache und anforderungsgerechte Gestaltung zulassen, da Firmen oft neue Maschinen herstellen und sie dazu noch gewisse Formen brauchen, zu denen es noch keine Formenteile gibt.

### g) Medizintechnik

Selbst wenn man es nicht vermutet, spielen Faserverbundwerkstoffe auch in der Medizintechnik eine sehr bedeutende Rolle. Aus ihnen werden beispielsweise Arm- und Beinprothesen, Rollstühle, Orthesen, Implantate und auch medizinische Geräte wie Liegen für Röntgenapparate hergestellt. Hier werden teils sehr spezielle Eigenschaften benötigt. Ein Beispiel dazu ist die Liege für Röntgenapparate und MRTs. Um ein klares Bild bei einem MRT zu bekommen ist es notwendig, dass sich kein Metall im Bereich der Aufnahmen befindet, selbst die Tinte von Tattoos kann zum einen zu schweren Verbrennungen des Patienten, als auch zu einem unscharfen Bild führen, da in der Tinte Eisenpartikel enthalten ist. Das Gleiche gilt für Orthesen und Prothesen, denn auch sie sollten unter einem MRT keine Probleme verursachen, damit man die Patienten sorglos untersuchen kann. Auch eine hohe Steifigkeit ist gerade bei Prothesen und Orthesen wichtig, sie sollten nicht brechen, da dies zu schweren Verletzungen führen könnte. Die Steifigkeit in Kombination mit dem geringen Gewicht ist außerdem die optimale Voraussetzung für einen Rollstuhl. Diese waren früher durch ihr Gewicht sehr unhandlich und ein sehr großes Problem für Leute mit einer Gehbehinderung, doch durch FVW sind sie viel handlicher geworden. Der aber vielleicht wichtigste Aspekt ist die Körperverträglichkeit des Materials. Da sich die Materialien auch im Körper befinden, ist es sehr wichtig dass sie für den Körper eines Menschen oder dem eines Tieres keinerlei Gefahr darstellen. Sie müssen sich absolut neutral dem Körper gegenüber verhalten und dürfen keine gefährlichen Stoffe im Körper freisetzen oder absondern.



Abb. 5-19: MRT (Magnetresonanztomographie)

## 6. Kajak

### 6.1. Geschichte

#### 6.1.1. Ursprung und Geschichte des Kajaks

Der gezeichnete Weg des Kajaks liegt mehrere Jahrtausende zurück. Um genau zu sein, stammen Kajaks von den Einbäumen ab und diese wurden um ca. 4000 v.Chr. in verschiedenen Teilen der Welt benutzt, zum Beispiel in Schottland, Grönland und im Euphrat<sup>2</sup>. Doch schnell war den Inuit, die in Grönland lebten, der Einbaum viel zu sperrig und zu schwer. Deswegen entschieden sie sich ein neues Boot zu erfinden und zu bauen. Daher kann man den Ursprung des Kajaks den Inuit zuschreiben.



Abb. 6-1: Einbaum

Das Kajak war eine lebenswichtige Erfindung für die Inuit, da sie mit dem Kajak ein Boot erfunden hatten, das ihnen die Jagd erleichterte und ihren Alltag vereinfachte. Jenes spezielle Jagdkajak identifiziert sich mit seinem Antrieb. Es wird mit einem Doppelpaddel angetrieben. Der Fahrer sitzt in Fahrtrichtung und hat eine sogenannte Lang-Sitz-Position, bei der er seine Oberschenkel seitlich im Rumpf zur Stabilität anbringt.

Die Inuit bauten mit Knochen bzw. Holz ein Innengerüst, daraufhin legten sie das enthaarte Robbenfell in Wasser ein, um es zu weiten. Anschließend wurde es über das Innengerüst gespannt und befestigt. Weil sich das Fell beim Trocknen zusammenzieht, wird eine noch festere Spannung erreicht. Dieses Prinzip des Kajakbaus entspricht den Faltskajaks, welche die Inuit in Grönland zur Jagd benutzen. Sie nannten ihre Kajaks auch "Qajaq"<sup>3</sup>. Schon die jungen Kinder lernten früh das Gleichgewicht in einem Kajak zu halten um ihre Eltern bei der Jagd auf Fische und Robben zu unterstützen. Man vermutet, dass das Kajak am Anfang des 17. Jahrhunderts erfunden wurde, da eines der ältesten Kajaks im Nordatlantik 1706 geborgen wurde. Das lässt außerdem darauf schließen, dass die Inuit die Schöpfer des Kajaks sind. Im weiteren Verlauf der Geschichte machte sich das Kajak seinen Namen und wurde auf der ganzen Welt bekannt. 1500 war das erste Mal die Rede von einem Eskimo Kajak, dass die Eskimos als Jagdgerät verwenden und im Kampf ums Überleben in der gefährlichen Antarktis brauchen. 1535 berichtete der Franzose Jacques Cartier von Kajaks in Nordamerika.

<sup>2</sup> Ein Flusssystem das durch Türkei Syrien Irak verläuft

<sup>3</sup> Ursprünglicher Name

Im 16. und 17. Jahrhundert kamen englische Kapitäne mit Kajaks erstmals nach Europa. Ein weiteres Jahrhundert später brachten die englischen Studenten dann das Kajak auch nach Deutschland, damals wurden die Boote Grönländer genannt. 1860 wurde dann der erste “Grönländer Club“ in Breslau gegründet. Dieser Club wurde von John Mac Gregor<sup>4</sup> gegründet und war damals der erste Kanusportverein in Deutschland. In den Vereinigten Staaten wurde 1869 dann das erste Patent auf ein zerlegbares Boot angemeldet. 77 Jahre später meldet der Deutsche Alfred Heurich das Patent auf ein Faltkajak an, ein weiteres Jahr später begann die Geschichte der Rosenheimer Klepper Faltboote. Damals bemühte sich der Schneidermeister namens Johan Klepper um das Patent des Faltbootes von Alfred Heurich, dem Urvater des Kajaks in Deutschland. Johan Klepper bekam das Patent und dadurch auch die Lizenz zur Alleinfabrikation des Bootstyps “Delphin“.



**Abb. 6-2: Das erste Faltkajak „Delphin“**

Alfred Heurich baute das Boot, das Innengestell bestand aus Bambus Stäben auf dem schwere Beschläge befestigt wurden. Daraufhin wurde ein Tuch, das mit einem schmiegsamen und wasserfesten



**Abb. 6-3: Erstes GFK-Kajak**

Lack übergossen wurde, an den Beschlägen befestigt. Im Weiteren Verlauf begann die Firma eine kleine Produktion. Da die Boote sehr gut bei den Menschen ankamen, konnte die Firma expandieren und hat am Ende der 1920er schon 90 Boote am Tag produziert. Das erste Kajak das nicht mehr aus eine Gerüst und einem dazugehörigen Innengestell besteht wurde 1955 erfunden bzw. gebaut. Der Stuttgarter Sportartikel Hersteller Herbert Baschin baute damals das erste Kunststoff oder GFK-Kajak. Er zeigte sein Boot das erste Mal auf der Ammer.

<sup>4</sup> Ein Reiseschriftsteller und Rechtsanwalt, der als wichtigster Pionier in der Geschichte des Kanusports gilt

Sein Boot war ca. 3,75m lang und 62cm breit und wog über 20kg. Er baute sein Boot in der “Sandwich Bauweise“. Bei dieser Bauweise werden mehrere Lagen Fasermaterial mit einem Schaumkern in der Mitte laminiert. Als Erkennungszeichen dienten rote Boote mit weißen Streifen an der Naht. Daraufhin gelang Hans Memminger, ein Regisseur und Buchautor aus München, 1976 die Erst-Befahrung der tiefsten Schlucht im Himalaya mit dem Kajak. Der Film, den er dazu drehte, bekam eine Auszeichnung namens “Preis der Nation“. Es folgten weitere erfolgreiche Werke von ihm wie zum Beispiel "Die Arktis Im Kajak", die mit dem Journalisten-Preis des Bayerischen Kanuverbandes ausgezeichnet wurde. Das Werk "In Sturm Und Eis" dokumentiert außerdem eine der extremsten Unternehmungen in der Expeditionsgeschichte der letzten Jahrzehnte. Gleich im darauf folgenden Jahr geschah ein weiteres sehr wichtiges Ereignis in der Geschichte des Kajaks: in den USA wird das neue PE-Kajak erfunden. Es wurde mit dem Rotationsverfahren hergestellt. Beim Rotationsverfahren wird eine Form aus Aluminium oder Eisen angefertigt diese wird in einem Ofen erhitzt und währenddessen werden Granulat Kunststoffe wie Polyethylen in die Form gegeben. Im nächsten Schritt kommt die Form in eine Rotation, das Granulat schmilzt und setzt sich an der Aluminium wand ab. Im letzten Schritt wird die Form gekühlt und schlussendlich dann das Granulat herausgelöst. Die Vorteile dabei sind, dass keine Nähte erforderlich sind.



Abb. 6-4: Das „K3“

Durch die Erfindung dieses Kajaks wurde ein neues Zeitalter der Kanugeschichte angeschnitten. Das erste PE-Kajak in Europa wurde in Deutschland, Rosenheim, von Herrn Klepper hergestellt. Das Boot trug den Namen “K3“ und wurde als unzerstörbar eingestuft. Es war für die damaligen Zeiten ein riesiger Erfolg. Dieser Erfolg zog sich weiter durch das Jahr 1978 als die erste Kanuschule Nordbayerns “Kanuschule Noris“ gegründet wurde. Hauptinitiatorin der Schule war Renate Eder, die zudem von Gert Heuber und Manfred Eder unterstützt wurde. Die drei verfolgten dabei ein klares Ziel. Sie möchten die Leute dazu anregen Kajak zu fahren, dabei sehr viel Spaß zu haben und geben außerdem noch Lehrgänge bzw. Training im Kajak fahren. Außerdem kooperieren sie stark mit der Firma Klepper, die ihnen die Boote zur Verfügung stellt. Durch den K3er hatte die Kanuschule Noris einen entscheidenden Vorteil und konnte sich ihren Mitstreitern gegenüber durchsetzen.

1980 setzt sich dann die Firma Prijon durch. Anton Prijon wurde 1929 in Görz im damaligen Italien geboren. Er baute als Jugendlicher gerne Kajaks und war ein großer Fan vom Kajak fahren, er gewann sogar mit seinem eigenen Boot in Südfrankreich den Preis des Deutschen Wildwassermeisters.

Er gründete dann eine Familie und stieg zuerst bei der Firma Klepper ein. Circa 20 Jahre später machte er sich selbständig und baute seinen eigenen PE-Kajaks. Sein großes Werk nannte er Taifun, mit welchem völlig neue Möglichkeiten im Wildwassersport ermöglicht wurden. Des Weiteren wurden 1981 dann auch Kanadier aus Royalex<sup>5</sup> gebaut, die in den USA von der Firma Old Town hergestellt worden waren. Die Firma Old Town ist ebenfalls eine der bekanntesten Hersteller von Kanus auf der ganzen Welt. Sie spezialisierte sich auf den Bau von Kanadiern aus Holz. Im weiteren Verlauf ihrer Firmengeschichte wurden die Kanadier aus GFK und schlussendlich auch aus Aluminium und Royalex angefertigt.



Abb. 6-5: Das PE-Kajak „Taifun“

Schon bald erkennt man in Deutschland, dass die Kanus nicht nur gebaut werden müssen, sondern dass sie auch professionell gefahren werden sollten, deswegen kommt die Kanuschule Noris auf eine glorreiche Idee. Sie gründet 1982 in München im Pschorrkeller zusammen mit Günther Camelly, Holger Machatschek und Manfred Eder den VDKS (Verband Deutscher Kanuschulen). In diesem

Verband arbeiten Camelly, Machatschek und Eder zusammen als Kanulehrer, entwickeln verschiedene Methoden um den Menschen das Kanufahren auf einem schnellen und spaßigen Weg beizubringen. Zum Einen über Wildwasser Camps und zum Anderen über Rafting.

1984 gründete Horst Fürsattel seine Firma HF, die Kanusicherheitszubehör herstellt. Darunter kann man sich Rettungsgeräte wie den Wurfsack vorstellen, der eingesetzt wird, wenn beispielsweise ein Mann über Bord ist. Des Weiteren stellt die Firma wasserdichte Rucksäcke bzw. Gepäcksäcke her. Durch die Gründung dieser Firma wurde der Wildwasser Bereich um einiges sicher. 1992 finden die Playboard Wettkämpfe statt, bei der extreme Veränderungen in den Bootsformen und den Fahrtechniken zu erkennen sind. Doch dies war noch nicht das Ende der Weiterentwicklung und der Verbreitung von Kajaks. Man könnte nicht



Abb. 6-6: Wurfsack

<sup>5</sup> Royalex ist ein moderner Kunststoff-Verbundwerkstoff

meinen, dass diese Boote früher überlebenswichtig für die Ureinwohner Grönlands und anderen Ländern waren, da sie heute nur noch zu geringen Teilen wirklich als Jagdboote verwendet werden. Die Kajaks werden zum Großteil in Wettkämpfen und zu Rundfahrten genutzt.

### **6.1.2. Damalige Anwendungsgebiete**

Das Kajak wurde früher zu einem der wichtigsten Fortbewegungsmittel der Inuit gezählt und war überlebenswichtig für sie. Die Kinder begannen schon im frühen Alter sich mit dem Kajak auseinander zu setzen und das Gleichgewicht zu halten. Nachdem die Kinder das Kajak fahren erlernt hatten, konnten sie sofort ihren Eltern beim Fangen von See aus helfen. Früher wurden die Robbenjagd mit handgeworfenen Speeren und Lanzen vom Kajak aus durchgeführt. Sehr spektakulär ist, dass für jedes Gewässer auch schon damals andere Bauformen der Kajaks verwendet worden waren, um weniger und effektiver im jeweiligen Gewässer manövrieren zu können. Bei der Jagd kamen die Eskimos öfters einmal in eine gefährliche Lage, da die Gewässer rund um Grönland unberechenbar waren. Doch die Inuit waren immer auf alle Fälle vorbereitet. Sie fuhren nicht ohne einen wasserdichten Fellanzug und konnten immer und überall eine „Eskimorolle“ anwenden. Dies lernen die Inuit ebenfalls schon im frühen Alter, um dieses lebensnotwendige Manöver perfekt zu beherrschen. Eine kurze Erklärung zur „Eskimorolle“: dabei knickt der jeweilige Fahrer seine Hüfte ein und kann sich dabei um seine eigene Achse drehen. Besonders hilfreich ist das, wenn man zum Beispiel durch eine Welle kentert und dabei unter Wasser gerät. Dann kann man sich durch einen einzigen Schwung mit der Hüfte wieder an die Oberfläche bringen und weiter fahren. Diese Eskimorolle rettete die meisten Inuit vor dem Ertrinken und half ihnen aus kritischen Situationen bei der Jagd. Außerdem wurde das Kajak auch als Transportmittel verwendet, um Güter auf Kleinstrecken von A nach B zu bringen. Auch in der heutigen Zeit hat das Kajak noch mehrere Verwendungszwecke. Die Zwecke in Nordgrönland sind weitestgehend dieselben geblieben.

### **6.1.3. Kajaksport**

Noch bevor Johann Klepper das Faltboot 1907 erfunden hatte, breitete sich hauptsächlich in Mittel- und Norddeutschland der Kanusport aus. Die meisten Kanuvereine wurden von englischen Studenten gegründet, die den Sport auch während ihres Studiums weiter treiben wollten. Die Hauptzentren des Sports waren in Hamburg, Berlin und Leipzig. Auch sehr viele Ruderer wechselten auf ein Kanu. Das erste Rennen mit Paddelbooten in Europa wurde im Rahmen einer Ruderregatta, 1862 in Budapest gestartet. In Deutschland war die erste Regatta erst 1870. Diese wurde von Herbert Klintz orga-

nisiert. Dabei entstanden extrem schnelle Zeitdaten, die allerdings in der heutigen Zeit nicht zählen da damals noch nicht zwischen Paddeln und Rudern unterschieden worden ist. Das bedeutet, dass die Ruderer viel schnellere Zeiten als die Paddler hatten. Deswegen wird heute unter vielen Kriterien entschieden in welche Klasse der jeweilige Fahrer darf.

Am 26. Mai 1905 wurde in Hamburg der Alster-Canoe-Club, kurz ACC (erste Kanu Club) gegründet. Er hatte von Anfang an sehr viele Mitglieder, da viele aus den Rudervereinen in die Kanu Clubs gewechselt. Das Kajak- oder Kanadier fahren machte vielen mehr Spaß, weil es einfacher war, als mit den größeren und schwereren Ruderbooten. Der ACC ist einer der Mitgründer des Deutschen Kanu Verbandes, kurz DKV, der 1914 gegründet wurde. Dr. Alfred Korn, Mitglied des ACC, wurde der erste Präsident des DKV. Die erste Meisterschaft in Deutschland fand 1919 in Leipzig statt. Bereits ein Jahr später fanden die Meisterschaften in Hamburg statt. In Hamburg wurden dann eine Klasseneinteilung der Kanus in Kajaks und Kanadier eingeteilt, um die verschiedenen Disziplinen gerecht bewerten zu können. Diese Klasseneinteilung und die Bezeichnungen sind bis heute gültig.

Nun zum Unterschied zwischen Kajaks und Kanadiern: Ein Kanadier ist nach oben geöffnet und wird kniend mit einem Stechpaddel gefahren. Im Kajak gibt es nur eine kleine Luke, die den Einstieg ermöglicht und es wird nicht mit einem Stechpaddel gefahren, sondern mit einem Doppelpaddel. So viel zu den größten Unterschieden.

Nun ein kleiner Sprung ins Ausland: am 6 August 1922 wurde der Österreicher Kanu-Verband gegründet. Kurz darauf wurde auch in der Schweiz ein Kanu-Verband gegründet: das Gründungsdatum ist der 17. Mai 1925 und der Gründungsgrund war die Vereinigung Schweizerischer Flusswanderer in Brugg. Zu Beginn hatte der Verband 31 Mitglieder.

Am 19. Januar 1924 gründeten der deutsche Kanuverband, der österreichische Kanuverband, der schwedische und der dänische Kanuverband die sogenannte Internationale Repräsentation Kanusport, kurz IRK. Der Sitz der IRK war in München, mit Präsident Franz Reinicke. Die IRK war der Vorläufer des ICF, auf den ich später genauer eingehen werde. Die IRK war sehr engagiert an den Olympischen Spielen in Frankreich und stellte dort sogar die ersten Kanurennen der Welt vor.

Im Jahr 1927 wurde eine sehr skurrile Wettkampfform des Kanus vorgestellt. Diese nannte sich Kanu Polo und war vom DKV vorgeschlagen worden. Seit dem Jahre 1933 gab es Europameisterschaften im Kanusport. 1934 wurde der Kanusport dann auch von dem IOC (Internationale Olympische Komitee) als olympische Sportart anerkannt.

Daraufhin wurde dann 1936 das erste Mal, als die olympischen Spiele in Berlin stattfanden, der Kanusport als eine olympische Disziplin ausgetragen. Damals durfte pro Land nur ein Kanu am Wettbewerb teilnehmen. Die Langstreckenrennen wurden auf einer geraden Strecke ausgetragen, diese

verlief vom Seddinsee bis zur Tribüne der Regattastrecke Berlin Grünau. Auf dieser Strecke fanden Kenterübungen von 40 deutschen Kanuten statt. Insgesamt nahmen 116 Zehner Kanus an der Regatta oder den Langstrecken Läufen teil. Bei diesem Wettbewerb waren die Österreicher die Favoriten und gewannen dann auch die Regatta. Deutschland schloss diesen Wettbewerb mit dem zweiten Platz ab. Die ersten Weltmeisterschaften im Kanusport fanden 1938 in Våxholm statt. Dabei wurden insgesamt in 12 Disziplinen Medaillen verliehen. Die einzelnen Disziplinen waren in Kanadier und Kajaks aufgeteilt. Auf einer 1000 Meter Strecke gab es Rennen im Einer-Kanu und im Zweier-Kanu. Außerdem gab es das Zweier-Kanadier Rennen auf 10.000 Meter. Zusätzlich gab es noch ein Faltboot Rennen auf 10.000 Meter. Als Spezial Disziplin wurde beim Kajak auch ein Rennen mit vier Personen an Bord über 1000m gestartet. Bei den Frauen gab es Wettbewerbe über 600 Meter in Einer- und Zweier-Kajaks. Deutschland schloss bei den Weltmeisterschaften sehr gut ab, sie gewannen vier Gold Medaillen, sechs Silber Medaillen und fünf Bronze Medaillen. Sie mussten sich nur den Schweden geschlagen geben, die in der Gesamtbewertung überragend abgeschnitten haben.



Abb. 6-7: Der Weg von Oskar Speck

Ein Jahr nach den Weltmeisterschaften kam Oskar Speck, ein Deutscher Abenteurer, in Australien an. Er startete 1932 in Ulm und paddelte die Donau runter. Er entschied sich allerdings für einen anderen Weg, er paddelte bis zu syrischen Küste, nahm dort sein Boot mit an Land und transportierte es an Land bis zum Euphrat. Von dort aus setzte er seine Fahrt über Indien und Bali bis nach

Australien fort. Als er im September 1939 an der Australischen Insel Thursday Island gesichtet wurde, wurde er bis 1945 dort festgehalten, weil er als ein feindlicher Ausländer galt. Nach Kriegsende baute er sich dort eine Existenz als Opalhändler<sup>6</sup> auf. In den Kriegszeiten wurden die Olympischen Spiele und die Weltmeisterschaften nicht ausgetragen, weil keine sichere Austragung der Spiele gewährleistet werden konnte. Allerdings wurden nach dem Krieg einige Änderungen bezüglich der Disziplinen bei den Olympischen vorgenommen. Diese begannen 1948 mit der Einführung der Frauenteams, diese setzten sich gut durch und konnten sich damit einen sicheren Platz in den Ka-

<sup>6</sup> Opal ist ein häufig vorkommendes Mineral, das keine Kristall Struktur besitzt und dadurch als Schmucksteine verwendet wird

jak Disziplin sichern. Bei den Kanadiern konnten sie sich leider nicht durchsetzen.

Außerdem gab es immer wieder große Meinungsverschiedenheiten der Punktrichter und der Veranstalter. Sie stritten sich sehr oft über die verschiedenen Disziplinen. 1960 begannen dann die ersten großen Änderungen. Zum einen wurden die 10.000m Langstreckenrennen abgeschafft und dafür wurde dann die 4 x 500m Staffel eingeführt. Diese Staffel wurde allerdings 1964 wieder gestrichen. Für diese Staffel wurde dann wiederum ein Vierer-Kajak eingesetzt.

Daraufhin gab es dann 1972 eine sehr große Änderung im Olympischen Kanusport und zwar wurden die vier Slalom Disziplinen eingeführt. Diese fanden im Eiskanal in Augsburg statt. Doch auch diese vier Disziplinen wurden 1976 abgeschafft und für vier normale 500m rennen eingesetzt. Allerdings

wurde diese actionreiche Disziplin von den Zuschauern und auch von den Fahrern so sehr bejubelt, dass sie 16 Jahre nach Abschaffung wieder mit in die Olympischen Disziplinen aufgenommen wurde. Am Ende dieses Kapitels möchte ich noch auf alle Verschiedenen Wett-



Abb. 6-8: Die ersten Kanurennen

kampfsportarten eingehen die es in unserer heutigen Zeit gibt. Zum einen gibt es den normalen Kanu Rennsport, auf dem einfach eine bestimmte Strecke geradeaus gefahren wird. Zum Anderen gibt es



Abb. 6-9: Slalomrennen

das Kanuslalom, bei dem es darum geht, eine bestimmte Slalomstrecke mit Hindernissen wie zum Beispiel einen Strudel oder sehr enge Passagen, schnellstmöglich zu überwinden.

Außerdem gibt es heute einen sogenannten Wildwasserrennsport, bei dem es ebenfalls wie beim Slalom darauf ankommt, eine Strecke in der schnellstmöglichen Zeit ab zu fahren. Der einzige Unterschied ist dabei, dass die Hindernisse beim Wildwasserrennsport

etwas schwieriger sind und dass es die Strecke

in zwei Ausgaben gibt. Erstens den Sprint und zweitens die Langstrecke. Das ist sehr schön und spannend anzusehen. Ich kann dabei aus eigener Erfahrung Sprechen da ich selber schon bei einem Wildwasserrennen dabei war (als Zuschauer). Außerdem gibt es eine neue Sportart: das Kanu Polo. Im Kanu Polo versuchen zwei Mannschaften einen Ball mit der Hand oder dem Paddel in das gegne-

rische Tor zu bringen. Das Spiel erinnert von den Spielregeln her stark an Fußball und kann bis 1991 damit verglichen werden. Doch ab diesem Zeitpunkt werden die Regeln geändert. Es gibt ein kleineres Spielfeld und kleinere Tore, die auf einer Höhe von 1,50m platziert werden. Außerdem werden spezielle Kajaks dafür hergestellt. Diese sollen das Polospiel erleichtern.

Das Kanu Polo ist in der ganzen Welt und spezifisch in Deutschland sehr bekannt. Diese Sportart wird an den World Games (In diese Kategorie kommen die Sportarten, die auf der Welt sehr verbreitet sind, es allerdings nicht in die Olympia Wertung geschafft haben. Die Spiele finden alle 4 Jahre statt) ausgetragen. In Deutschland gibt es so-

gar eine eigene Bundesliga für Kanu Polo.

Nun zu einer weiteren Wettkampftart des Kanus: das Drachenboot.

Hierbei fährt ein Boot der Länge 12,5m eine gerade Strecke. In einem Boot sitzen 16-20 mit Stechpaddeln

ausgerüstete Paddler, die in einem Takt paddeln. Den "Paddeltakt" gibt der sogenannte

Trommler an, dessen Platz in der Spitze des Bootes ist. Die Richtung wird vom Steuer-

mann angegeben, der seinen Platz im Heck des Bootes hat, um einen perfekten Überblick über die Richtung und das Verhalten des Bootes zu haben. Diese Disziplin ist seit 1990 regelmäßig in Wett-

kämpfen vertreten und ist auch in den World Games vertreten. Desweiteren wird auch ein Kanumarathon



Abb. 6-10: Drachenbootwettkampf

ausgetragen, der sich über eine Länge von 42,2 Kilometer streckt. Auf dieser Strecke befinden sich auch einige Portagen, die umgangen bzw. übergangen werden müssen. Als Wettkampfstart zählt man in dieser Disziplin das Jahr 1982, in der der erste Worldcup Marathon gestartet wurde. Das Kanu-segeln ist von der Größe und der Berühmtheit etwa gleich zu stellen mit dem Kanumarathon. Diese Disziplin ist sehr stark verwandt mit den Segeldisziplinen und wird dadurch oft mit zu den Seglern gezählt. Doch eigentlich gehört sie zu den Kajaks, weil die Form des Bootes ein Kajak ist. Es hat ein spitzes Heck und ist sehr schmal. Dies ist sehr gut auf einem Bild zu erkennen.



Abb. 6-11: Kanupolospiel

Desweiteren wird auch ein Kanumarathon ausgetragen, der sich über eine Länge von 42,2 Kilometer streckt. Auf dieser Strecke befinden sich auch einige Portagen, die umgangen bzw. übergangen werden müssen. Als Wettkampfstart zählt man in dieser Disziplin das Jahr 1982, in der der erste Worldcup Marathon gestartet wurde. Das Kanu-segeln ist von der Größe und der Berühmtheit etwa gleich zu stellen mit dem Kanumarathon. Diese Disziplin ist sehr stark verwandt mit den Segeldisziplinen und

Des Weiteren gehören noch viele kleinere Wettkampfsportarten zu dem Kajaksport. Rafting ist eine dieser kleineren Disziplinen, außerdem gibt es noch Kanu Freestyle, squirt boating und Surf Ski. Ich möchte an dieser Stelle noch einmal eine kleine Erklärung der einzelnen Disziplinen verfassen und definiere darauf eingehen. Rafting ist relativ einfach zu erklären, da es in unserer Umgebung einige Stellen gibt, an denen man Rafting am eigenen Leib ausprobieren kann. Zum Beispiel am Rhein in Istein. Beim Wettkampf unterscheiden sich die jeweiligen Disziplinen in Slalom und Sprint, man fährt dabei in stark strömenden Gewässern. Nun zum Kanu Freestyle: die Kanuten haben beim Freestyle ein nur 2 m langes Kajak, das ihnen einen sehr großen Vorteil bei ihren Tricks und Moves gibt. Dort, wo im Fluss die gefährlichen Walzen und Rückläufe entstehen, sind die Freestyler anzutreffen und man kann sie bei ihren Drehungen und Sprüngen beobachten. Dabei kann man behaupten, dass der Style, den sie auf dem Wasser haben, an einen Bullenritt erinnert. Deswegen wird diese Wettkampfsportart auch Rodeo genannt. Die Richter bewerten dabei nach dem Style und der Schwierigkeit der Sprünge.



Abb. 6-12: Squirt boating

Das Squirt boating ist verwandt mit der Freestyle Disziplin, der große Unterschied ist dabei, dass das Boot beim Squirt boating ein extrem geringes Volumen hat. Dadurch wird das Boot wendig und der Fahrer kann sogar unter Wasser Tricks ausüben. Um unter Wasser bestimmte Tricks oder Figuren ausüben zu können, muss die Strömung genau passen. An dieser Stelle des Flusses muss ein Unterdruck entstehen und dadurch ein Sog nach unten. Durch diesen Sog wird das Kajak nach unten gezogen und die Fahrer können ihre Tricks einfacher ausüben.

Die letzte kleinere Wettkampfsportart ist das Surf Ski. In dieser Art geht es um extrem lange Strecken, die von den jeweiligen Kanuten zurückgelegt werden muss. Hier ist die Rede von Strecken 700 und 20.000 Metern.

## 6.2. Das moderne Kajak

### 6.2.1. Design

Es gibt sehr viele unterschiedliche Kajaks und Kajak Bauweisen. Ich möchte bei Thema Design spezifisch über den Aufbau und das Aussehen der Kajaks schreiben. Das erste Kajak das ich beschreibe ist ein Allrounder, man nennt diese Kajaks Tourenkajak. Die Entwickler benötigen lange Entwicklungszeiten da sie die Kajaks von Heck bis Spitze jedes kleinste Detail durchplanen. Beim Habel IV brauchten die Entwickler 3,5 Jahre für die Umsetzung. Es ist dabei ein sehr gutes Tourenkajak entstanden. Das Habel IV hat ein großes Cockpit mit einem integrierten Kompass und 3 verschließbare Ladeluken was Typisch für die Tourenkajaks sind. Diese bieten genug Platz für Proviant und alles was man braucht um längere Strecken zurück zu legen.

Nun zu den Technischen Daten des Habel IV, das Boot hat eine hohe Stabilität. Es wiegt 22kg und ist 546cm lang. Die Breite beträgt 58cm und das Füllvolumen sind 350 l. Die Besonderheiten dieses Kajak ist zum einen eine Paddelaufgabe im Bereich der Einstiegs Luke und zum anderen wurde die Rumpfform verändert für eine bessere Leichtlaufeigenschaft. Die Faltsboote sind heute auch noch heute weit verbreitete.

Ein Marktführer im Bereich der Faltsboote ist der Hersteller Pouch der seinen Firmensitz im Osten Deutschlands hat. Genauer gesagt in Düsseldorf. Die Firma entwickelte zusammen mit der technischen Universität in Chemnitz ein Carbon Gerüst für das Faltsboot. Dadurch wiegt es auf einer Länge von 550cm nur 18,5kg. Das gesamt Gewicht beträgt 25kg. Der Look des Boots ist sehr anschaulich



Abb. 6-13: Pyranha

da Schaumstoff gefüllte Carbon röhren das Gerüst in einem edlen matt schwarz erscheinen lassen. Preislich gibt es eine große Spanne je nach dem für welchen Zweck man das Boot benutzt muss man zwischen 500€ und 3000€ bezahlen. In den letzten Jahren wurde im allgemeine viel geforscht und ausprobiert dadurch Außerdem baut die Firma Pyranha auch sogenannte Riverrunner oder sogenannte Lokis die zum Freestyle und zum Surf Ski benutzt werden. Das Boot hat ausgeprägte kanten die zur besseren Kontrolle des Bootes dienen. Außerdem bietet es für einen Loki sehr viel Komfort. Bei der Vorhergehenden Baureihe gab es große Probleme mit dem Sitzplatz, da nur wenig Bein Freiraum hatte und somit keine langen Strecken fahren konnte. Dies haben die Hersteller geändert und ein 220cm langes und 62cm Breites Boot entwickelt. Die Länge ist untypisch, allerdings kann der Fahrer dadurch wesentlich längere Strecken fahren. Das Fassungsvermögen beträgt 164l,

das Boot kann dadurch von Fahrern die zwischen 50 und 90kg wiegen gefahren werden. Auch die Firma Klepper, die die erste Firma war die Faltboote produzierte hat bis heute überlebt. Das letzte große Projekt dieser Firma war es ein Kofferboot, oder auch Rucksackboot genannt, zu bauen. Dies ist nicht die erste Idee einer Firma so ein Boot zu bauen. Nach dem zweiten Weltkrieg wurden schon einmal die sogenannten Kofferboote produziert. Diese waren damals aus Aluminium. Allerdings fasste die Firma Klepper dieses Projekt an einem ganz anderen Ende auf sie wollten ein gut designtes leicht zu verstauendes und vor allem ein sehr leichtes Boot. Das Kajak besteht aus einem innovativen High-Tech-Werkstoff dies ist ein sehr leichter aber extrem robuster Carbon. Dementsprechend auch ziemlich teuer das Boot kostet im gesamten 3790€ Allerdings wiegt es nur 18 kg und man kann es ganz einfach auf dem Rücken transportieren. Es ist 540cm lang. Durch die enorme Länge kann es auch als Zweisitzer genutzt werden. Die beiden Rucksäcke in denen das Kajak verstaut ist wiegen jeweils 10 kg und haben normale Maße: 90x 60 x 40cm. Das Projekt trägt den Namen Backyak was so viel bedeuten soll wie Rucksack Kajak. Außerdem stellte Klepper Upgrades für seinen Backyak her. Dadurch kann man das Kajak auch zum Segelboot oder zu einem Katamaran umfunktionieren. Allerdings liegen die Aufpreise für die Upgrades sehr hoch aufgrund der teuren Werkstoffe. Ein Upgrade kostet zwischen 800€ und 3200€

### **6.2.2. Typen**

Während der geschichtlichen Entwicklung des Kajaks wurde das 'Ur-Kajak' für verschiedene Zwecke optimiert. So entwickelten sich einige unterschiedliche Typen. Am meisten Ähnlichkeit mit den ursprünglichen Kajaks der Inuit und Indianer, die zum Jagen im Meer und auf Seen bestimmt waren, haben die heutigen Seekajaks bzw. Touringkajaks. Sie sind sehr lang (ca. 4,5 – 7m) und sehr stabil und unempfindlich gegen Wellen. Außerdem haben sie viel Stauraum um Gepäck mit zu nehmen. Dank der Länge und der schmalen Form sind sie sehr schnell und ohne viel Kraft fahrbar, sind jedoch nicht so wendig wie zum Beispiel Wildwasser-Kajaks.

Wildwasserkajaks sind deutlich anders aufgebaut als herkömmliche Kajaks. Sie müssen sehr robust, wendig und trotzdem schnell sein. Die Boote sind meistens nicht länger als zwei Meter und häufig aus PVC da sie Schläge und enorme Kräfte aushalten müssen. Beim White-Water-Kayaking geht es darum einen reißenden Fluss mit vielen Stromschnellen, Strömungen und Felsen so schnell wie möglich herunter zu fahren. Da das Boot so kurz ist kann man extrem enge Kurven fahren und so den Hindernissen trotz der Geschwindigkeit ausweichen. Der einzige Zweck für den die Kajaks bestimmt sind, ist der Sport. Wildwasserkajaken zählt wie oben beschrieben zu den olympischen Disziplinen.

### 6.2.3. Ausrüstung

Zu den wichtigsten Ausrüstungsgegenständen zählt das Doppelpaddel und eine Schwimmweste. Um das Boot dicht zu machen während man paddelt gibt es sogenannte Spritzdecken die das Eindringen von Wasser verhindern. Außerdem sollte man auf längere Touren auf alle Fälle genug zu Trinken und etwas zu Essen mitnehmen. Um seine Klamotten zu verstauen gibt es wasserdichte Seesäcke die man in die Luken verstauen kann. Außerdem ist es ratsam wenn man sich auf dem Wasser bewegt etwas gegen die Sonne mitzunehmen und sich gut einzucremen.



Abb. 6-14: Seesack von Vaude



Abb. 6-15: Spritzdecke



Abb. 6-16: Schwimmweste



Abb. 6-17: Doppelpaddel aus Carbon

## 7. Das Projekt „Bau eines Kajaks“

### 7.1. Planung

Der erste Schritt des Projekts beginnt auf dem Papier. Um ein solches Projekt umzusetzen bedarf es gründlicher Vorarbeit. Mit einem Bauplan fängt alles an. Wir sahen uns einige fertige Kajaks an um uns ein Bild zu machen wie die Geometrie und die Form auszusehen hat damit wir später nicht im See untergehen. Da es einige verschiedene Arten von Kajaks gibt mussten wir uns erst einmal entscheiden für welchen Zweck das Kajak später einmal sein soll. Aufgrund der Tatsache, dass wir am Bodensee wohnen erschien es uns sinnvoll ein „seetaugliches Kajak“ also ein See-Kajak zu bauen. Diese jedoch sind im Normalfall ca. sieben Meter lang, was uns dann wegen des hohen Materialverbrauchs und des schwierigen Handlings doch etwas zu lang war. So entschieden wir uns dafür, einen vorhandenen Plan eines Seekajaks so umzugestalten, dass es seinem ursprünglichen Zweck gewachsen ist, jedoch trotzdem noch in die Garage passt. Beim Umgang mit FVW muss man auf einige Sachen achten, (wie zum Beispiel, dass es kaum möglich ist über einen 90° Winkel hinaus zu laminieren) wie wir im Vorfeld unseres Projekts schon durch die zahlreichen Gespräche mit Bastian und einigen Mitarbeitern von A.C.E. und das Praktikum erfahren haben. Auch diese Aspekte hatten Einfluss auf die Formgebung des Kajaks. Mithilfe dieser Kriterien überarbeiteten wir die Zeichnung auf der von nun an die Form basierte. Da die Zeichnung nur auf einem DIN A4 Blatt gezeichnet war mussten wir diese erst einmal maßstabsgetreu vergrößern um letzte Fehler auszumerzen. Nun, da wir eine Vorstellung hatten wie lang, breit und welche Form das Boot später haben soll, fingen wir an, die Form zu bauen.

### 7.2. Planung der Form

Als erstes vergingen einige Stunden der Überlegung wie genau wir aus einer Zeichnung nun eine Form mit solchen Ausmaßen bauen. Soll es ein Modell werden, um das wir die Fasern in einem Stück herumlegen? Oder doch eine negativform in die wir herein laminieren? Und wie würden wir das an-

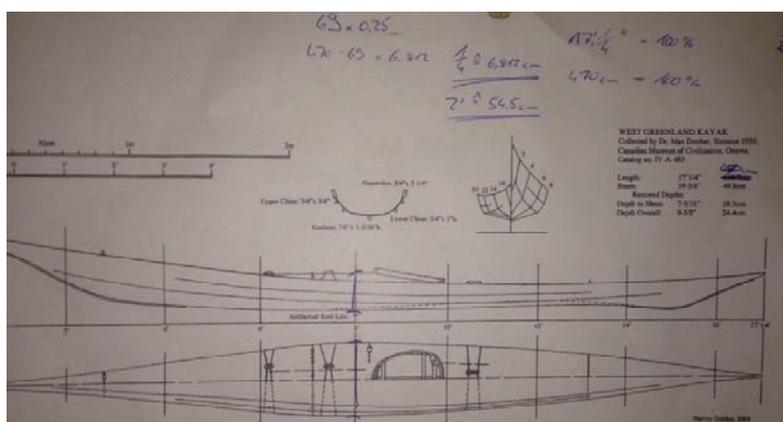


Abb. 7-1: Der angepasste Bauplan

stellen? Nach einiger Zeit und drei überhitzten Köpfen kamen wir zum Entschluss eine Negativform in zwei Hälften zu bauen. Eine Ober- und eine Unterhälfte die nacheinander laminiert, zugeschnitten und aufeinandergesetzt werden. Um den Bau der Formen zu realisieren nahmen wir uns den Aufbau eines Flugzeug-Flügels als Vorbild. Er besteht aus vielen Spannten die parallel zum Rumpf in gewissen Abständen zueinander das Grundgerüst des Flügels bilden. Auf diese Spannten wird die Außenhaut des Flügels genietet. Jedoch ist Alu sehr teuer und außerdem recht schwer. Wir entschieden uns also das Grundgerüst für die Form aus Holz zu bauen um Gewicht und vor allem Geld zu sparen. In der folgenden Serie werden wir die Arbeitsschritte nach und nach zeigen und erläutern.

### 7.3. Der Bau des Kajaks Schritt für Schritt

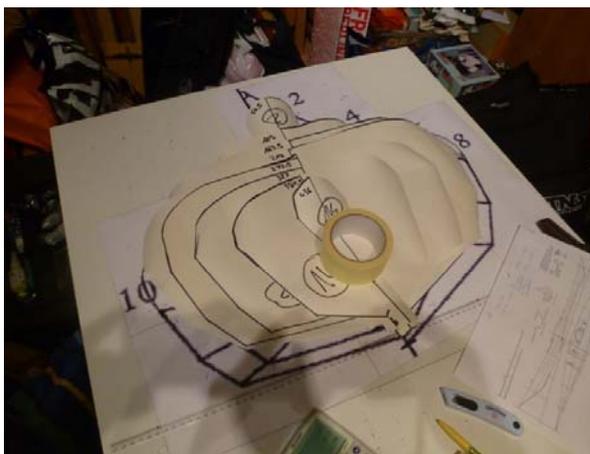


Abb. 7-2: Die ausgeschnittenen Querschnitte

- (1) Wir begannen also damit, die Zeichnungen der Querschnitte auf den Maßstab 1:1 zu vergrößern. Anschließend wurden die Querschnitte auf ein großes Papier übertragen und ausgeschnitten.

- (2) Als nächstes wurden die Querschnitte auf 15mm Dreischichtplatten übertragen, bei der vorher die Mittelachse angezeichnet wurde, damit später keine Asymmetrien auftreten.



Abb. 7-3: Übertragen der Querschnitte



Abb. 7-4: Aussägen der Querschnitte

- (3) So entstanden mit Hilfe der Stich- und Kreissäge und viel Geduld allmählich die Spanten.

- (4) Anschließend wurden die Spanten halbiert und zusammengespannt, um sie zu schleifen. Das hat den Vorteil, dass die Symetrie automatisch gegeben ist. Das Resultat war 32 Spantenpaare.



Abb. 7-5: Die Hälftenpaare der Spanten



Abb. 7-6: Zusammenfügen der Spantenteile

- (5) Bevor wir das Grundgerüst aufbauen konnten mussten die geschliffenen Spantenteile wieder zusammengefügt werden.



Abb. 7-7: Der Bau des Grundgerüsts

(6) Nachdem wir die Spantenteile wieder zusammengeschaubt hatten (wie bei Abb 4-3), konnten wir anfangen die Spanten zum Gerüst für die Form zusammenzubauen. Jetzt konnte man zum ersten Mal die ungefähre Form des Kajaks erahnen.



Abb. 7-8: Das fertige Grundgerüst der Form

(7) Als Nächstes wurde die Grundform geschaffen, indem wir 3mm Hartfaserplatten zuschnitten und auf die Spanten nagelten. Das Zuschneiden der HFP stellte sich als ziemlich anstrengend heraus.



Abb. 7-9: Beplankung der Form



Abb. 7-10: Die Form von innen



Abb. 7-11: Aufgenagelte HFP

- (8) Dies zehrte sich einige Wochen hin, bis dann schlussendlich die Grundform aus Holz fertig war.



Abb. 7-12: Die fertige Grundform



Abb. 7-13: Auftragen der Spachtelmasse

- (9) Der nächste Schritt war gleichzeitig der bei dem die Form am meisten Gewicht zunahm. Insgesamt 50 Kg Spachtelmasse wurden Schicht für Schicht in der Form aufgetragen. Immer wieder haben wir geschliffen und wieder gespachtelt, um eine möglichst gleichmäßige Oberfläche zu erzielen.



Abb. 7-14: Unterhälfte wird gespachtelt



Abb. 7-15: Ober- und Unterhälfte ausgespachtelt

- (10) Bei der oberen Formhälfte kamen anschließend die Einlässe für die Luken und den Einstieg. Diese wurden mit Styropor aufmodelliert, damit sie nachher beim Endprodukt in das Bauteil eingelassen sind.



Abb. 7-16: Erhebung für Lukeneinlässe



Abb. 7-17: Erhebung für Einstieg



Abb. 7-18: Fertig geschliffene Oberhälfte

- (11) Das Ganze wurde zu guter Letzt noch einmal fein geschliffen und gut saubergemacht für den nächsten Schritt.



Abb. 7-19: Fertig geschliffene Unterhälfte

- (12) Dieser bestand darin die Form mit Hilfe einer Lage Glasfaser zu stabilisieren.



Abb. 7-20: Laminieren mit Glasfaser



Abb. 7-21: Schleifen der Glasfaser

- (13) Anschließend schliessen wir die größten Fehler im Material weg und reinigten die Form erneut zur weiteren Verarbeitung.

- (14) Nun folgte die letzte Schicht des Formenbaus. Das Formenharz auch genannt Gelcoat. Dieses lässt sich gut polieren und sorgt somit für eine optimale Oberfläche fürs spätere Laminieren.



Abb. 7-22: Bestreichen der Form mit Gelcoat

- (1) Nachdem das Gelcoat voll ausgehärtet war, konnte man endlich das erste Mal probesitzen und in etwa spüren wie es später einmal sein wird.



**Abb. 7-23: Probesitzen**



**Abb. 7-24: Gelcoat schleifen**

- (15) Wie sich herausstellte, lässt sich das Gelcoat extrem schwer schleifen. So mussten wir schwerere Geschütze auffahren und einiges an Schweiß und Muskelkater in Kauf nehmen. Zum Glück hatten wir noch ein wenig Unterstützung von Freunden! Danke Euch an dieser Stelle!

- (16) Nachdem wir einige Tage mit dem Schleifen verbracht haben, musste die Form nun nurnoch auspoliert werden.



**Abb. 7-25: Polieren der Form**



Abb. 7-26: Ausgeschnittene Glasfasergewebe

(17) Nun, da die Form geschliffen und gut poliert war, haben wir uns auf das Laminieren vorbereitet. Das Material haben wir mit einem Elektro-Cutter zugeschnitten, den wir uns glücklicherweise von A.C.E. ausleihen konnten.

(18) Zu guter Letzt vor dem Laminieren, wurde die Form komplett mit trennwachs ausgesprüht, was nachher eigentlich dafür sorgen soll, dass das Bauteil ohne Probleme aus der Form kommt.

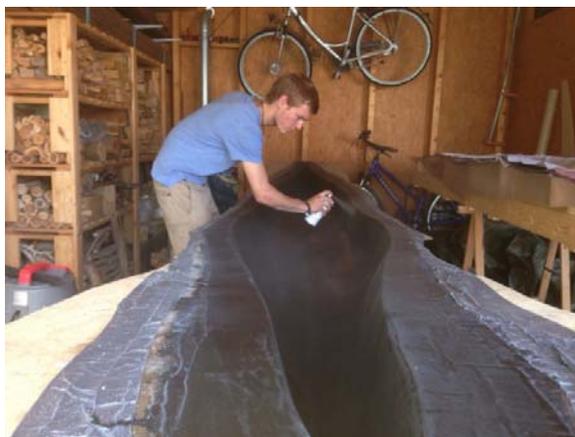


Abb. 7-27: Wachsen der Form



Abb. 7-28: Einlegen der Deckschicht

(19) Nachdem das Wachs angetrocknet war gingen wir an die Form von innen mit Harz zu bestreichen. Anschließend legten wir die Deckschicht aus Carbon in die Form.

- (20) Diese wurde wieder mit Harz getränkt damit überall im Gewebe Harz vorhanden ist. Darauf folgte die erste Lage +/- 90° biaxiales Carbon Gewebe, die auch wieder mit Harz getränkt wurde. Um dem Kajak mehr Stabilität zu verleihen, haben wir die verschiedenen Lagen aus verschiedenen Gewebetypen mit verschiedener Ausrichtung kombiniert.



Abb. 7-29: Laminieren des Carbons



Abb. 7-30: Positionierung der Schaumkerne

- (21) Auf die Lage Carbonfaser drapierten wir die Schaumkerne, die wir passgenau zugeschnitten hatten. Diese verleihen dem Kajak später dank dem Sandwichbauprinzip die gewünschte Windungssteifigkeit und Starre.

- (22) Als nächstes folgte eine Lage +/- 45° biaxiales Glasgewebe, das die Schaumkerne schon einmal ein wenig in ihre spätere Position drückte.



Abb. 7-31: Laminieren der Glasfaser



**Abb. 7-32: Die letzte Lage laminiert**

- (23) Als letzte Lage laminierten wir noch eine  $\pm 45^\circ$  ausgerichtete Lage Carbon.

- (24) Anschließend folgt das Abreißgewebe, das für eine saubere Oberfläche sorgt und gleichzeitig klarstellt, dass der Rest der verwendeten Vakuumtechnik später wieder vom Laminat abgerissen werden kann. Danach folgt die Lochfolie, die dafür sorgt, dass das darüberliegende Vakuumfließ sich nicht sofort mit Harz voll saugt. Somit ermöglicht ein reibungsfreies Absaugen der Luft. Zu guter Letzt kommt über alles die Vakuumfolie.



**Abb. 7-33: Anbringen der Vakuumtechnik**



**Abb. 7-34: Luftansaugstutzen**

- (25) Nachdem die Vakuumfolie rundherum auf dem speziellen Tape („Taggy-Tape“) hält, müssen nur noch die Vakuumanschlüsse gelegt werden.

- (26) Danach pumpt die Vakuumpumpe jegliche Luft aus dem System, sodass die komplette Atmosphäre auf das Laminat presst. Umgerechnet sind das ca. 10 Tonnen pro qm was in unserem Fall bedeuten würde dass etwa 40 Tonnen auf dem Laminat Lasten.



Abb. 7-35: Die Pumpe bei der Arbeit



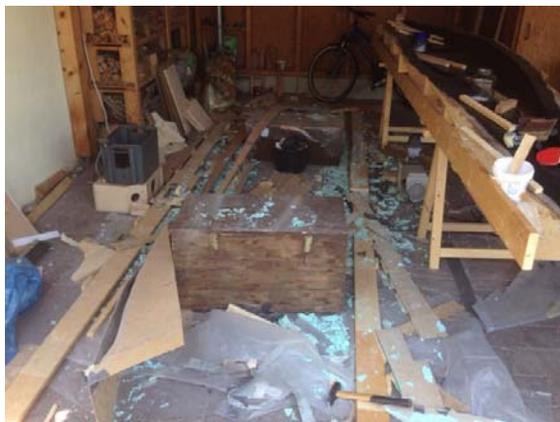
Abb. 7-36: Abdichten des Vakuums

- (27) Ein paar letzte kleine Stellen wo noch Luft in das System kommt mussten noch abgedichtet werden. Die Vakuumpumpe läuft nun mindestens 24h bis der Kleber aushärtet.

Nachdem die Temperaturen leider garnicht mitgespielt haben, mussten wir deutlich länger als die angegebenen 24h warten bis wir die Vakuumfolie abnehmen konnten. Nach drei Tagen des Wartens erblickte das Kajak erstmals das Licht der Welt.



Abb. 7-37: Das Kajak erblickt das Licht der Welt



**Abb. 7-38: Das Ausmaß der Gewalt**

Da das Kajak sich trotz aller Arbeit an der Form nicht von ihr lösen wollte, mussten wir etwas Gewalt anwenden und das Grundgerüst der Form entfernen. Dadurch wurde die Form deutlich flexibler.

Letztendlich kam das Kajak aus der verbleibenden Form und wir wurden für unsere Arbeit belohnt.



**Abb. 7-39: Die Belohnung unserer Arbeit**



**Abb. 7-40: Die Jungfernfahrt**

Der Letzte Schritt beinhaltete dann nur noch das Entfernen des restlichen Gelcoats und das Polieren des Kajaks. Einige Kleinigkeiten fehlen noch und die beiden Hälften müssen noch aufeinander gesetzt werden. Jedoch konnten wir endlich die Jungfernfahrt wagen! Dies war ein voller Erfolg!

## 8. Fazit

### 8.1. Résumé

Als abschließende Worte möchten wir noch einiges zu unseren Erfahrungen und Erkenntnissen schreiben. Insbesondere die Praxisarbeit hat uns einiges gelehrt. Beispielsweise, dass ein so großes Projekt wie wir es anstrebten nur zu schaffen ist, wenn man dazu nicht nur kompetente, sondern auch unerschrockene Mitschüler hat, mit denen man diesen langen Weg gehen will. Da sich unser Thema in einem (gerade für die Jugend) sehr fremden Bereich bewegt, war es für uns nicht nur weitestgehend Neuland, sondern geradezu eine große Herausforderung für einen selbst und als Team. Anfangs war uns nicht wirklich bewusst, dass sich unsere Eigenarbeit so zeit- und kraftraubend entwickeln würde. Dadurch dass keiner von uns je ein solches Projekt gemacht hat, wurde uns erst während des Baus klar, dass unser Projekt sich wohl nicht in 100 Arbeitsstunden erledigen lassen würde. Trotz dieser Unwissenheit fingen wir bereits kurz nach der Themenfindung an, unser Projekt zu bearbeiten, was uns wie wir später bemerkten einen großen Vorteil verschaffte. Was ich (Dominik) persönlich sehr gut fand, war das uns allen ziemlich schnell klar wurde, dass Lars unser Teamleiter sein wird. Er sorgte in unserem Team direkt für Ordnung, Disziplin und Termineinhaltung. Des Weiteren hatte er immer ein offenes Ohr für weitere Vorschläge und war auch in der Dokumentation eine wahre Hilfe. Er war, wie sich auch noch später bewies der Schlüssel zu unserem Projekt und führte die Gruppe gut voran.

Im Laufe des Projektes wurde uns deutlich klar, dass ein immenses Vorhaben wie dieses nur unter einem guten Arbeitsklima durchgeführt werden kann. Da wir alle drei sehr gut befreundet sind, war dies eine Voraussetzung die wir bereits im Vorhinein erfüllt hatten. Allgemein würden wir ein solches Projekt mit all seinen Erfolgen und Fehlschlägen jederzeit wiederholen, da wir trotz der ganzen Mühen und Arbeiten auch immer viel Spaß hatten. Doch wenn es darum ging eine Sache anzugehen, auch konzentriert und bewusst gearbeitet haben. Dies war die optimale Mischung zum Erfolg der sich am Ende unserer Arbeit in einem wie wir finden sehr gelungenen Kajak widerspiegelt. Doch nicht nur die praktische Arbeit brachte uns Erfahrung und neues Wissen. Auch die Ausarbeitung der Dokumentation verschaffte uns einen tiefen Einblick in die Thematik. Wir lernten viele wissenswerte und hochinteressante Fakten über die Entstehung, die Verarbeitung und die Anwendung der Kajaks und Faserverbundwerkstoffe. Man ist zwar schon vorher einmal in einem Kajak gesessen und ist ein wenig umhergepaddelt, doch ein solches Projekt öffnet einem die Augen und man erkennt was überhaupt hinter der Fassade des Kajaks steckt.

## 8.2. Aufgetretene Probleme

Bei einem Projekt dieser Art sind Probleme vorprogrammiert. Gerade beim Bau der Form traten immer wieder die ein oder anderen Komplikationen auf. Diese sind nicht gerade förderlich für die Motivation unserer Gruppe gewesen. Das wohl größte Problem war das Trennen des Kajaks aus der Form, wobei unsere Nerven auf eine harte Probe gestellt wurden. Dies lag zum Einen daran, dass wir aufgrund fehlender Erfahrung die Form nicht gründlich genug poliert haben und zum anderen daran, dass wir zu wenig Trennwachs verwendet haben. Doch all diese Probleme ließen uns daraus lernen und wir wussten für die obere Form direkt, wie wir in etwa vorgehen müssen. Es heißt ja schließlich: „Aus Fehlern lernt man“. Dieses Sprichwort begleitete uns das ganze Projekt über. Statt den Kopf in den Sand zu stecken, überlegten wir uns Lösungen für die aufgetretenen Fehler und setzten diese in der weiteren Arbeit um. Ein weiteres Problem was uns zu schaffen machte, war das Zeitmanagement, da sowohl private Gründe, wie zum Beispiel Nebenjobs und der Entfernung, als auch eine doch sehr voller Stundenplan für einige Aufschiebungen sorgte.

Alles in Allem brachten uns die Probleme hauptsächlich weiter und belehrten uns. Auch der Teamgeist wurde durch die Lösungsfindung und die anschließende Umsetzung und den Erfolg deutlich gestärkt, und schließlich mit Erfolg gekrönt!



Abb. 8-1: Das „K-Team“

## 9. Anhang

### 9.1. Quellen

#### 9.1.1. Bilderquellen

- Abb.2-1 [http://www.ihdsl.de/wp-content/uploads/2015/06/220px-Nymphaea\\_02\\_ies.jpg](http://www.ihdsl.de/wp-content/uploads/2015/06/220px-Nymphaea_02_ies.jpg)
- Abb.2-2 <https://www.pinterest.com/coco12086/i-wish/>
- Abb.2-3 [http://ecx.images-amazon.com/images/I/41bminyUs8L.\\_AA160\\_.jpg](http://ecx.images-amazon.com/images/I/41bminyUs8L._AA160_.jpg)
- Abb.2-4 [http://shop.hp-textiles.com/shop/images/product\\_images/info\\_images/hp-t205ac\\_rolj.jpg](http://shop.hp-textiles.com/shop/images/product_images/info_images/hp-t205ac_rolj.jpg)
- Abb.2-5 [http://www.der-schweighofer.at/public/files/300/181210512012428\\_300.jpg](http://www.der-schweighofer.at/public/files/300/181210512012428_300.jpg)
- Abb.2-6 [http://www.liba-online.de/media/Anwendungen/indutech\\_carbon.jpg](http://www.liba-online.de/media/Anwendungen/indutech_carbon.jpg)
- Abb.2-7 <https://www.phd-24.de/images/produkte/cache/mi26/2699.jpeg>
- Abb.2-8 Eigenes Bild
- Abb.2-9 Eigenes Bild
- Abb.2-10 <http://www.k-zeitung.de/files/smithumbnaildata/lightboxdetaillamborghini11web.jpg>
- Abb.2-11 [http://www.fassmer.de/uploads/pics/Vacuum\\_Infusion\\_02.jpg](http://www.fassmer.de/uploads/pics/Vacuum_Infusion_02.jpg)
- Abb.2-12 [http://www.compositesworld.com/cdn/cms/RTM\\_ACE\\_500.jpg](http://www.compositesworld.com/cdn/cms/RTM_ACE_500.jpg)
- Abb.2-13 <http://www.carbofibretec.de/de/luft-und-raumfahrt>
- Abb.2-14 [http://wallpaperswide.com/boeing\\_787\\_dreamliner-wallpapers.html](http://wallpaperswide.com/boeing_787_dreamliner-wallpapers.html)
- Abb.2-15 [http://jacksonkayak.com/wp-content/uploads/gallery/2012-carbon-star-series/img\\_6989.jpg](http://jacksonkayak.com/wp-content/uploads/gallery/2012-carbon-star-series/img_6989.jpg)
- Abb.2-16 <http://www.spoX.com/de/sport/formel1/0902/Bilder/red-bull-neu-514.jpg>
- Abb.2-17 <http://www.windkraft-journal.de/wp-content/uploads/2012/08/Rotorblatt-300x257.jpg>
- Abb.2-18 <http://www.carbofibretec.de/de/industrie>
- Abb.2-19 <http://www.radiologie-alfeld.de/dia/files/mrt.jpg>
- Abb.3-1 <http://images./boote/einbaum-2a133d0e-dce3-4130-bb00-66cd35352cd8.jpg>
- Abb.3-2 <http://www.kanu-oberbayern.de/images/klepper08.jpg>
- Abb.3-3 <http://www.kanu-oberbayern.de/voriges-jahrhundert2.html>
- Abb.3-4 <http://bild1.qimage.de/einer-kajak-mit-foto-bild-s97911441.jpg>
- Abb.3-5 <http://bild2.qimage.de/kajak-prijon-taifun-foto-bild-98303022.jpg>
- Abb.3-6 <http://www.paddle-people.com/wurfsack5.html>
- Abb.3-7 [https://de.wikipedia.org/wiki/Oskar\\_Speck\\_#/media/File:Speck-map.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Oskar_Speck_#/media/File:Speck-map.png)
- Abb.3-8 [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/45/.jpg/250px-Kajak\\_\(1\).jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/45/.jpg/250px-Kajak_(1).jpg)
- Abb.3-9 [http://www.augsburg.de/fileadmin/user\\_upload/freizeit/eiskanal/eiskanal-01-zoom.jpg](http://www.augsburg.de/fileadmin/user_upload/freizeit/eiskanal/eiskanal-01-zoom.jpg)
- Abb.3-10 <http://www.hhubmann.de/Drachenboote/content/images/large/11CityC5027zHDHP700.jpg>
- Abb.3-11 [http://www.doliwa-naturfoto.de/Bilder-Galerie/Sport/Kanupolo/Kanupolo1/wd\\_D52718.jpg](http://www.doliwa-naturfoto.de/Bilder-Galerie/Sport/Kanupolo/Kanupolo1/wd_D52718.jpg)
- Abb.3-12 <https://sportmk.files.wordpress.com/2012/05/ben-squirt-2.jpg>

- Abb.3-13 <http://www.kanumagazin.de/test-technik/neuheiten/nach-langer-evolution-pyranha-loki/>
- Abb.3-14 [http://bootglueck.de/images/product\\_images/popup\\_images/1083\\_0.jpg](http://bootglueck.de/images/product_images/popup_images/1083_0.jpg)
- Abb.3-15 [http://www.kajakladen.com/fotos/fotos\\_shop\\_gross/langer\\_spritzdecke\\_aramid.jpg](http://www.kajakladen.com/fotos/fotos_shop_gross/langer_spritzdecke_aramid.jpg)
- Abb.3-16 [http://img.nauticexpo.de/images\\_ne/photo-g/kanu-kajak-schwimmweste-22866-5603563.jpg](http://img.nauticexpo.de/images_ne/photo-g/kanu-kajak-schwimmweste-22866-5603563.jpg)
- Abb.3-17 [http://www.kajakladen.com/fotos/fotos\\_shop\\_gross/Robson\\_Zephyr\\_Carbon\\_Ergoschaft.jpg](http://www.kajakladen.com/fotos/fotos_shop_gross/Robson_Zephyr_Carbon_Ergoschaft.jpg)
- Abb.3-18 Eigenes Bild
- Abb.4-1 Eigenes Bild
- Abb.4-2 Eigenes Bild
- Abb.4-3 Eigenes Bild
- Abb.4-4 Eigenes Bild
- Abb.4-5 Eigenes Bild
- Abb.4-6 Eigenes Bild
- Abb.4-7 Eigenes Bild
- Abb.4-8 Eigenes Bild
- Abb.4-9 Eigenes Bild
- Abb.4-10 Eigenes Bild
- Abb.4-11 Eigenes Bild
- Abb.4-12 Eigenes Bild
- Abb.4-13 Eigenes Bild
- Abb.4-15 Eigenes Bild
- Abb.4-16 Eigenes Bild
- Abb.4-17 Eigenes Bild
- Abb.4-18 Eigenes Bild
- Abb.4-19 Eigenes Bild
- Abb.4-20 Eigenes Bild
- Abb.4-21 Eigenes Bild
- Abb.4-22 Eigenes Bild
- Abb.4-23 Eigenes Bild
- Abb.4-24 Eigenes Bild
- Abb.4-25 Eigenes Bild
- Abb.4-26 Eigenes Bild
- Abb.4-27 Eigenes Bild
- Abb.4-28 Eigenes Bild
- Abb.4-29 Eigenes Bild
- Abb.4-30 Eigenes Bild
- Abb.4-31 Eigenes Bild

|          |              |
|----------|--------------|
| Abb.4-32 | Eigenes Bild |
| Abb.4-33 | Eigenes Bild |
| Abb.4-34 | Eigenes Bild |
| Abb.4-35 | Eigenes Bild |
| Abb.4-36 | Eigenes Bild |
| Abb.4-37 | Eigenes Bild |
| Abb.4-38 | Eigenes Bild |
| Abb.4-39 | Eigenes Bild |
| Abb.5-1  | Eigenes Bild |

### **9.1.2. Literaturverzeichnis**

<http://www.carbofibretec.de/de/leistungsspektrum>  
<http://www.ace-composite.de/ace-advanced-composite-engineering.html>  
<http://wiki.zimt.uni-siegen.de/fertigungsautomatisierung>  
<http://de.wikipedia.org/wiki/Faserverbundwerkstoff>  
<http://www.uni-stuttgart.de/hi/gnt/forsch/forschung13unter.htm>  
<https://www.youtube.com/watch?v=rZ0wntKii7Q>  
<http://www.r-g.de/de/>  
<http://www.unibw.de/werkstoffe/lehre/skripte/glas>  
<http://www.hydroworld.de/vb/showthread.php?5816-Wissenswertes-%FCber->  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Faser-Kunststoff-Verbund#Matrixsysteme>  
<https://de.wikipedia.org/wiki/Faserverbundwerkstoff#Laminat>  
<http://www.konstruktionspraxis.vogel.de/themen/werkstoffe/verbundwerkstoffe/articles/114270/>  
<http://www.chemie.de/lexikon/Faserverbundwerkstoff.html>  
<http://www.madehow.com/Volume-4/Carbon-Fiber.html>  
<http://www.bootsservice-behnke.de/contents/de/d91.html#>  
<http://www.madehow.com/Volume-2/Fiberglass.html>  
<http://www.fiberglas-discount.de/wissenswertes-glasfilamentgewebe>  
<https://www.youtube.com/watch?v=3q6zsEMQXxk>  
<http://www.r-g.de/wiki/Glasfasern>  
<http://www.megatron.ch/de/faserverbundwerkstoffe>