

JUTE UND HANF STATT KARBON

Mit der Idee, einen elektrisch angetriebenen Rennwagen zu realisieren, kam auch das Bedürfnis auf, mehr für die Umwelt zu tun, als nur ein emissionsfreies Auto zu entwickeln. Aus diesem Grund hat sich das Formula-Student-Electric-Team der Technischen Universität Berlin dazu entschieden, für die im Fahrzeug zum Einsatz kommenden faserverstärkten Kunststoffe auf Naturfasern zurückzugreifen.



DENNIS CHRISTIAN KNOSPE ist Projektleiter, verantwortlich für die organisatorische und technische Leitung bei zedX, dem Formula-Student-Electric-Team der Technischen Universität Berlin.



PHILIPP KAHALE ist stellvertretender Projektleiter, verantwortlich für die organisatorische Leitung und Marketing bei zedX, dem Formula-Student-Electric-Team der Technischen Universität Berlin.



MOTIVATION

Die Schwerpunkte bei der Entwicklung des zedX Vision, dem ersten Formula-Student-Rennwagen der Technischen Universität Berlin mit elektrischem Antrieb, lagen nicht allein bei dem Antrieb und dessen Einzelkomponenten. Vielmehr wurde bei der Entwicklung des zedX Vision darauf Wert gelegt, ein nachhaltiges Gesamtfahrzeugkonzept umzusetzen, das möglichst alle Bauteile und Baugruppen des Fahrzeugs umfassen sollte. Ein wichtiger Punkt für dieses Konzept war der Schritt weg von den herkömmlichen Faserverbundwerkstoffen auf Basis von Kohlenstoff- und Glasfasern und hin zu Naturfasern aus nachwachsenden Rohstoffen, wie zum Beispiel Hanf- oder Jutefasern.

IDEE

Ein Elektrofahrzeug bietet die Möglichkeit, im Betrieb Ressourcen und die Umwelt zu schonen. Betrachtet man jedoch nicht nur das Fahrzeug im Betrieb allein, sondern auch dessen Entwicklung und Fertigung, so gelangt man schnell zu der Erkenntnis, dass man weitaus mehr unternehmen muss, um ein umweltfreundliches und -verträgliches Fahrzeugkonzept umzusetzen. Mit dieser Erkenntnis kam auch die Idee, bei der Wahl der Werkstoffe für den zedX Vision nicht bei den üblichen Werkstoffen zu suchen, sondern nach Werkstoffen, die von der Natur bereitgestellt werden und in ähnlicher Weise verarbeitet werden können, wie zum Beispiel Kohlenstofffasern.

Das Hauptaugenmerk sollte dabei zunächst auf leicht beanspruchte Bauteile wie die Verkleidung, den Sitz und die Fußraumabdeckungen gelegt werden, um hier erste Erfahrungen mit den alternativen Werkstoffen zu sammeln, aber auch um deutlich aufzuzeigen, dass es möglich ist, diesen Weg zu beschreiten und zu verfolgen. Hierfür boten die genannten Bauteile das größte Potenzial.

WERKSTOFFE AUS DER NATUR

Die Natur bietet eine Vielzahl an nachwachsenden Werkstoffen und Grundmaterialien, die sich auch für die Einsätze unter schwierigen Bedingungen nutzen lassen. Ein gutes Beispiel ist ein Unterboden aus Holz, der bereits bei einigen Formula-



1 Verschiedene Naturfasergewebe
Various natural fiber cloths



2 Laminierproben mit verschiedenen Naturfasern
Laminating tests with various natural fibers

Student-Fahrzeugen integriert ist. Er ist leicht, einfach herzustellen und günstig. Es gibt aber noch weitaus mehr Werkstoffe, die von der Natur zur Verfügung gestellt werden und in der Anwendung mehr Freiheiten zulassen. So lassen sich faserige Werkstoffe, beispielsweise aus Sisal-Agaven, Corchorus-Pflanzen oder Hanf, ähnlich gut und flexibel verarbeiten wie zum Beispiel Kohlenstoff- oder Glasfasern, 1.

RICHTIGE FASER

Das Angebot an natürlichen Fasern ist groß und die Eigenschaften der Fasern variieren von Pflanze zu Pflanze. Dies führt zwangsläufig und mit Recht zu der Frage: „Welche Faser ist die Richtige?“ Diese Frage ist jedoch nicht einfach zu beantworten, da die Verarbeitung von Naturfasern in Form von Naturfaserverbundwerkstoffen, analog zu Kohlenstofffaserverbundwerkstoffen, bisher selbst von Seiten der Faserhersteller kaum in Betracht gezogen

wurden und somit zwangsläufig kaum Erfahrungen auf diesem Gebiet bestehen. Weit verbreitet ist bisher die Verarbeitung von Filzen, welche mit einem Harz getränkt und anschließend in Form gepresst werden. Diese Verarbeitungsweise kam aus verschiedenen Gründen, speziell für die Verkleidung und die anderen Bauteile des Fahrzeugs, nicht in Frage. Ein Grund, der gegen die Verwendung von Filzen gesprochen hat, war die minimale Dicke von nur 4 mm bei den zurzeit zur Verfügung stehenden Filzen.

Bei der Recherche bezüglich der richtigen Naturfaser und der passenden Gewebearbeit kamen schließlich zwei Fasern in die engere Auswahl, zum einen ein Vlies aus Sisal und zum anderen eine Gewebestruktur aus Jute. Für die endgültige Auswahl wurden aus beiden Kandidaten und einem Filz aus Hanf einfache Probestücke laminiert. Hauptanforderungen waren hier, dass sich die Fasern gut verarbeiten lassen und auch eine gute Oberflächenqualität bieten, 2.

JUTE AND HEMP INSTEAD OF CARBON

With the idea to realize a racing car with an electric drive train came the commitment to do more for the environment than just to build an emission-free car. This was the reason for the Formula Student Electric Team of the Technische Universität Berlin to use natural fibers for the fiber reinforced composites.

MOTIVATION

The focus of the development of the zedX Vision, the first Formula Student racing car of the Technische Universität Berlin with an electric drive train, was not only on the drive train and its components, but also on the development of the zedX Vision following an all-around sustainable car concept, which should have involved all components and assemblies.

An important aspect of this concept was, to step away from commonly used fiber composites based on carbon fibers, glass fibers or light metals like aluminum and to use natural fibers from regenerative resources, like for example hemp fibers or jute fibers.

IDEA

The operation of a locally emission-free electric car offers possibilities to save resources and to protect the environment. But if not only the operation of the car alone is considered, but instead the whole development and construction, it shows that much more has to be done to realize an environmentally friendly and sustainable concept for a car.

With this awareness came the idea, not to consider common materials for the parts of the zedX Vision and instead to look what materials nature can provide. One condition was that they could be handled in the same way as for example carbon fibers.

The main focus was set on lightly stressed components like the bodywork, the seat and the drivers compartment covers, in order to get first experiences with alternative materials, but also to test the possibility of using these kinds of materials. For this reason, the mentioned components showed the biggest potential.

NATURAL MATERIALS

Nature provides a great amount of regenerative materials, which can be used even under extreme conditions. A good example, yet used in some existing Formula Student cars, provides an undertray made of wood. It is light, easy to build and available at cheap price.

There are many other materials of natural origin, which allow a high degree of freedom in the ways to use them. Fiber materials from sisal-agaves, corchorus-plants or hemp are likewise as good and flexible to handle as for example carbon fibers or glass fibers, ①.

RIGHT FIBER

The range of natural fibers is big and the characteristics of the fibers differ from plant to plant. This points inevitably to the question: "Which fiber is the right choice for my car?" This question cannot be answered easily, because the processing of natural fibers to a natural fiber composite, similar to carbon fiber composites, was not really taken into account so far, even from the fiber manufacturers. Therefore, there were hardly any experiences in this field of activity. So far, mainly felts are processed, they are soaked with resin and then extruded to the desired form. This kind of processing was not applicable especially for the bodywork and the other components of the car because of several reasons. One decisive factor was, for example, the minimal available thickness of felts of 4 mm.

As a result of the research for the right natural fiber and the fitting cloth style, two kinds of fibers came into close-pitch selection. One was a fleece made of sisal and the other was a mat made of jute. For the evaluation of the processing features of these materials, several test pieces of both materials were taken, and additional-

ly, the one from a hemp felt. The two requirements of the evaluation were that the materials are easy to process and that they provide a good surface quality, ②.

The results have shown that the sisal fleece was not acceptable because of its long and hard fibers and the poor connection with the used resin. Nor in aspects of processing or in the quality of the surface could the sisal fleece compete with. The hemp felt failed as well, which was only evaluated for comparison, and showed that it is not suitable because of its thickness and the large amount of needed resin. On the other hand, the jute mats satisfied in the aspects of processing, which are similar to glass fiber mats or carbon fiber mats, and also showed a very good surface quality. Also in the aspect of weight and stiffness, the jute fiber composite was able to satisfy and was the chosen natural fiber accordingly.

PROCESSING THE NATURAL FIBERS

Because of the specific choice of the natural fibers and their characteristics, it was possible to use the established and proven methods for the processing of the natural fibers, so at first, a female mold of the bodywork

AUTHORS

DENNIS CHRISTIAN KNOSPE
is Project Manager of zedX,
responsible for Organisational and
Technical Management at the
Formula Student Electric Team of
the Technische Universität Berlin
(Germany).

PHILIPP KAHLE
is Assistant Project Manager of zedX,
responsible for Organisational
Management and Marketing at the
Formula Student Electric Team of
the Technische Universität Berlin
(Germany).



3 Das erste laminierte Verkleidungsteil
The first laminated part of the bodywork

Es zeigte sich, dass das Vlies aus Sisal, aufgrund seiner langen harten Fasern und der schlechten Verbindung mit dem Harz, nicht für die angedachte Anwendung in Frage kam, weder bezüglich Verarbeitung noch akzeptabler Oberflächenqualität. Auch das Hanffilz, das nur zu Vergleichszwecken untersucht wurde, zeigte, dass es aufgrund der Dicke und der benötigten Menge Harz nur bedingt geeignet ist. Von der Verarbeitung her überzeugten hingegen die Gewebe aus Jute, die sich ähnlich denen aus Glasfasern oder Kohlenstofffasern verarbeiten ließen und auch eine sehr gute Oberflächenqualität ergaben. Auch in Bezug auf Gewicht und Steifigkeit konnte das Laminat mit Jutefasern überzeugen, so dass die Wahl schließlich auf das Gewebe aus Jute fiel.

VERARBEITUNG DER NATURFASERN

Durch die gezielte Auswahl der Naturfasern und ihrer Eigenschaften konnte bei der Verarbeitung auf bewährte Methoden und Vorgehensweisen zurückgegriffen werden, so dass als erstes Negativformen für Verkleidung und Sitz angefertigt wurden. Beim Laminieren der ersten Teile zeigte sich, dass die verwendeten Jute-Gewebe das Harz sehr stark aufsaugen, was dazu führte, dass eine größere Menge an Harz aufgebracht werden musste, um das gesamte Gewebe gleichmäßig zu tränken. Die benötigte Menge an Harz entsprach

ungefähr dem zweifachen der Menge, welche für die Verarbeitung von Kohlenstofffasern benötigt wird. Jedoch konnte das Jute-Gewebe die benötigten Harzmenge nicht komplett binden, so dass sich ein Teil des verwendeten Harzes in den Vertiefungen gesammelt hat, 3.

Ein weiteres Problem bei der Verarbeitung des Jute-Gewebes stellte die große Fadenstärke des Gewebes dar, die aus Fertigungsgründen nicht kleiner gewählt werden konnte. Durch die große Fadenstärke gestaltete es sich schwierig, Kanten und kleine Radien zu laminieren, da das Gewebe aufgrund seiner „Steifigkeit“ nur schwer an Kanten zu legen war, ohne dass sich dort Hohlstellen bilden konnten.

Beide Probleme konnten durch den Einsatz eines Überdrucksystems bewältigt werden. Dazu wurde nach dem Laminieren auf der offenen Seite der Form ein Luftsack angebracht und anschließend mit Druckluft gefüllt. Dadurch wurde zum einen das laminierte Jute-Gewebe hervorragend in alle Kanten gedrückt und zum anderen verhindert, dass sich das Harz in den Vertiefungen sammelt, 4.

LEISTUNGSFÄHIGKEIT DER NATURFASERN

Bedingt durch den Anwendungsbereich wurden für die Naturfaserkunststoffe keine aufwendigen Werkstoff- oder Bauteilversuche, wie zum Beispiel Zugversuche, durchgeführt. Um jedoch einen Überblick zu erlangen, wie leistungsfähig die Naturfaserkunststoffe im Vergleich zu Metallen

und anderen Faserverbundwerkstoffen sind, wurden einfache Biegeversuche mit ähnlichen Probestücken durchgeführt.

Die Versuche zeigten, dass die Naturfaserkunststoffe bezüglich der Biegesteifigkeit nicht mit Werkstoffen wie Aluminium oder kohlenstofffaserverstärktem Kunststoff mithalten können. Bezieht man jedoch die gewonnenen Ergebnisse auf das Gewicht der einzelnen Proben, so zeigt sich, dass die Naturfaserkunststoffe, bei gleicher Biegesteifigkeit der Probe, rund 6 % leichter sind als die Aluminium-Variante. Im Vergleich zu Kohlenstofffaserkunststoffen sieht es hingegen eindeutig anders aus, so ist die Variante aus Naturfaser um zirka 37 % schwerer.

Mittels der Versuche wurde auch der Elastizitätsmodul der Naturfaserkunststoffe bestimmt, welcher je nach Wahl der verwendeten Naturfaser, zwischen 13.500 N/mm² bei Jutefasern und 17.500 N/mm² bei Hanffasern, variierte. Diese Werte sind vergleichbar mit den Werten von festem Holz, das einen E-Modul von bis zu 20.000 N/mm² erreicht. Bezogen auf andere Faserverbundwerkstoffe stellte dies einen relativ schlechten Wert dar, während hingegen Glasfaserkunststoffe Werte von über 40.000 N/mm² erreichen und Kohlenstofffaserkunststoffe sogar Werte über 140.000 N/mm².

Interessanter als die reinen Materialkennwerte waren jedoch die spezifischen Materialeigenschaften, wie die spezifische Steifigkeit. Hierzu wurden die Dichten der Naturfaserkunststoffe ermittelt. Diese lagen für die verwendeten Jutefasern bei



4 Die komplette Verkleidung des Rennwagens
The complete bodywork of the racing car

and seat was made. The lamination of the first components provided the evidence, that the used jute fiber mat absorbed the resin very strongly, which resulted in a large amount of resin, which had to be used to totally wet the mat completely. The needed amount of resin was nearly two times higher than the amount needed to process carbon fibers. However, the jute fiber mat was not able to completely bond all of the resin, and thus a part of the used resin gathered in the dents of the mold, ③.

Another problem with processing the jute fiber mats was the high fiber thickness of the mat, which could not be reduced because of manufacturing reasons. The high fiber thickness made it difficult to laminate edges and small radii, because of its “stiffness”. Thus, it was difficult to lay the mat around edges without the effect of large air bubbles on one side of the edge.

Both problems could be solved by using an overpressure system. Therefore, after the lamination an air cushion was placed and fixed on the open side of the mold and then filled with pressurized air. Thereby, the laminated jute fiber mats were pressed in and around all corners and edges and the resin was hindered to gather in the dents of the mold, ④.

PRODUCTIVE EFFICIENCY OF NATURAL FIBERS

Because of the application field of the natural fibers, neither extensive material tests nor component tests, that is tensile tests, were conducted. However, in order to get an impression about the performance of the natural fiber composites in comparison to metals and other fiber composites, bending tests with similar test pieces were conducted.

The tests have shown that the natural fiber composites cannot compete with materials like aluminum or carbon fiber composites in regard of bending stiffness. However, if the acquired results are put into relation to the weight of the test pieces, the natural fiber composites with the same bending stiffness as the test pieces are 6 % lighter than the aluminum pieces. In comparison to the carbon fiber composite, the natural fiber composite pieces were approximately 37 % heavier.

With the help of these tests, the elasticity modulus of the natural fiber composites could be determined, which was de-

pendent on the used fiber and varied between 13,500 N/mm² for the jute fiber composites and 17,500 N/mm² for the hemp fiber composites. These values are comparable to the values of miscellaneous woods, which are up to 20,000 N/mm². Compared to other fiber composites, these values were not so good; for example glass fiber composites have an e-modulus of around 40,000 N/mm² and carbon fiber composites are even better with an e-modulus of around 140,000 N/mm².

More interesting than the absolute material properties, were the specific material properties, like the specific stiffness. For this, the densities of the natural fiber composites were determined, which made 0.92 g/cm³ for the jute fiber composite and 1.22 g/cm³ for the hemp fiber composite. This means that the specific stiffness of the natural fiber composites was around 19 km. This result placed it in terms of specific stiffness directly under the wood (19.5 km) and glass fiber composites (20 km). Compared to materials like aluminum or steel, a larger difference can be detected. Exceptionally notable is the difference to carbon fiber composites, which get specific stiffnesses of up to 80 km, ⑤.

APPLICATION OF NATURAL FIBERS

Even though natural fibers are not comparable to carbon fibers in fact of its characteristics, the decision which fibers will be used was in favor of the natural fibers. This decision was founded on the idea to show that it is possible to use materials from regenerative resources to produce fiber composites and to create a basis for further developments.

Therefore, all parts that originally were made of carbon fiber composites or glass fiber composites were re-designed and then manufactured with natural fibers. Thus, not only the bodywork was adapted to the natural fibers, but also the seat, the dashboard and the coverings in the driver compartment.

The most complex part, which was made of natural fibers, was the bodywork of the car. A goal of the development was that it should not only function as bodywork of a car, instead it should show through its design that sustainability can be appealing. The bodywork was made of two layers of jute-cloth, which gave the bodywork a sufficient stiffness at a very lightweight.

Contrary to the bodywork, which is not stressed by any loads, the seat is a part, which has a central influence on the ergonomics and the performance of the driver. As the seat is strongly stressed through the driver and the loads while driving, special attention was given to the development of the seat. Therefore, several seats with different combinations and layers were made to find the right numbers of layers to reach a sufficient stiffness of the seat. The results showed that five layers of jute cloth are enough to reach sufficient stiffness.

Other parts made of natural fibers were the coverings of the driver compartment. Because the coverings are only plain panels in the first place, hemp fibers were used additionally to the jute fibers. The combination of two layers of jute fibers and one layer of hemp fibers showed similar characteristics in aspects of stiffness to five layers of only jute fiber.

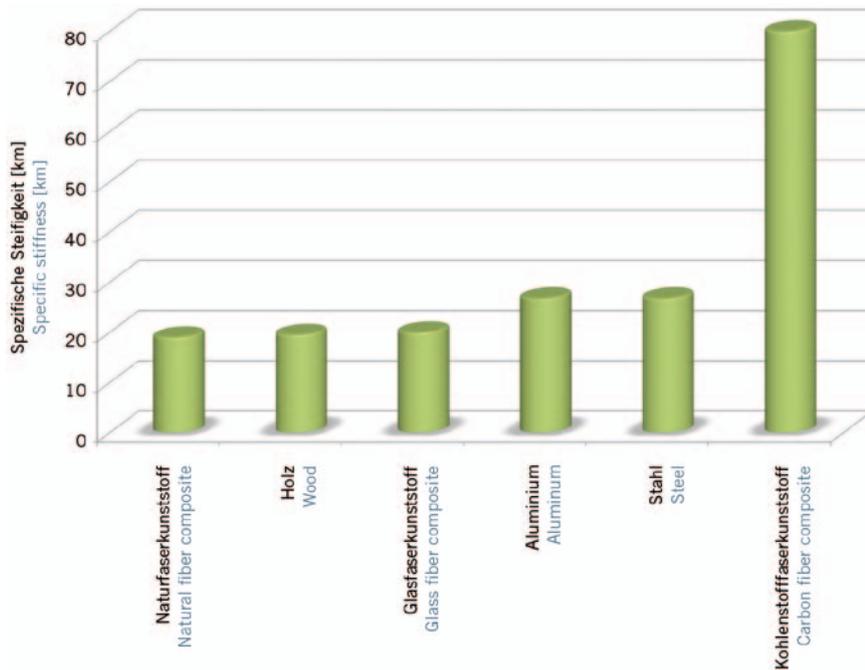
In comparison to the parts, which were originally used in the car and made of carbon fibers, no great difference in weight or handling could be observed. Only the parts solely made of jute fibers showed a higher tendency of cracking or breaking compared to the sandwich panels made of jute and hemp.

CONCLUSION

At the moment, the natural fiber composites are no alternative for highly stressed components, but for light or medium stressed components they certainly are. This results mainly to the fact that there are only small experiences regarding the handling of natural fiber and that they are not directly dedicated for this purpose at the moment.

The potential for further developments of natural fiber composites regarding their performance is quite significant and they represent a forward-looking and considerable alternative regarding sustainable materials. The biggest development potential offer the fibers themselves and the cloths produced out of it, because they are not yet made for this purpose.

Through adjustment of the natural fiber cloths to the requirements of fiber composites, it will be possible to ease the processing of the natural fibers and to further enhance their productive efficiency.



5 Vergleich der spezifischen Steifigkeit verschiedener Werkstoffe
Comparison of the specific stiffness of various materials

0,92 g/cm³ und 1,22 g/cm³ bei den Hanffasern. Damit ergab sich für die spezifische Steifigkeit der Naturfaserkunststoffe ein Wert von bis zu 19 km. Damit sortieren sich die Naturfaserkunststoffe knapp unter Werkstoffen wie Holz (19,5 km) und Glasfaserkunststoffen (20 km) ein. Im Vergleich zu Werkstoffen wie Aluminium oder auch Stahl zeigt sich hier schon ein größerer Unterschied. Besonders deutlich fällt der Unterschied jedoch im Vergleich zu Kohlenstofffaserkunststoffen aus, welche Werte um 80 km erreichen, 5.

EINSATZ DER NATURFASERN

Obleich die Naturfasern von ihren Eigenschaften her nicht mit Kohlenstofffasern vergleichbar sind, fiel die Entscheidung zugunsten der Naturfasern aus, da nicht die Leistungsfähigkeit im Mittelpunkt der Entscheidung stand, sondern die Idee, zu zeigen, dass es möglich ist, auch für Faserverbundwerkstoffe auf nachwachsende Rohstoffe zurückzugreifen und eine Basis für zukünftige Entwicklungen zu schaffen.

Im Fahrzeug wurden deshalb alle Teile, welche ursprünglich aus Glas- oder Kohlenstofffasern hergestellt wurden, überarbeitet und mit Naturfaser neu gefertigt. So wurden neben der Verkleidung auch der Sitz, das Armaturenbrett und die Abdeckungen im Fahrerbereich aus Naturfasern hergestellt.

Das aufwendigste Bauteil, das aus Naturfasern hergestellt wurde, war die Verkleidung des Fahrzeugs. Sie sollte nicht einfach nur die Funktion einer Verkleidung für ein Fahrzeug übernehmen, sondern durch ein einzigartiges Design zeigen, dass auch Nachhaltigkeit ansprechend sein kann. Für die Verkleidung wurde dabei auf zwei Lagen Jute-Gewebe zurückgegriffen, welche für eine ausreichende Steifigkeit bei möglichst geringem Gewicht gesorgt haben.

Im Gegensatz zur Verkleidung, die keine tragenden Aufgaben übernimmt, stellt der Sitz ein Bauteil dar, das einen zentralen Einfluss auf die Ergonomie und die Leistung des Fahrers hat. Da der Sitz durch den Fahrer und die durch ihn im Fahrbetrieb auftretenden Belastungen stark beansprucht wird, wurde ihm besondere Aufmerksamkeit gewidmet. So wurden mehrere verschiedene Varianten des Sitzes hergestellt, um zu prüfen, welche Kombination und Lagenanzahl für eine ausreichende Steifigkeit zu wählen ist. Das Ergebnis dieser Untersuchung war, dass fünf Lagen des Jute-Gewebes ausreichen, um die geforderte Steifigkeit zu erzielen.

Weitere Teile, die aus den Naturfasern hergestellt wurden, sind die Abdeckungen im Fahrerbereich. Da es sich bei den Abdeckungen in erster Linie um ebene Platten handelt, wurde neben dem Jute-Gewebe auch Hanf-Filz eingesetzt. Die Kom-

bination aus zwei Lagen Jute-Gewebe und einer Lage Hanf-Filz zeigte bezüglich ihrer Steifigkeit ähnliche Ergebnisse wie fünf Lagen reines Jute-Gewebe.

Im Vergleich zu den vorher im Fahrzeug eingesetzten Teilen aus Kohlenstofffasern ergab sich weder bezüglich des Gewichts noch in der Handhabung ein großer Unterschied. Der Einsatz der Naturfasern im Fahrzeug hat jedoch auch gezeigt, dass Bauteile, welche nur aus Jutfasern hergestellt wurden, stärker dazu neigen, zu brechen und zu reißen, als beispielsweise die Sandwichplatten aus Jute und Hanf.

FAZIT

Zwar stellen Naturfaserverbundwerkstoffe für hoch beanspruchte Bauteile zurzeit noch keine Alternative dar, aber für leicht bis mittel beanspruchte Bauteile können diese Werkstoffe durchaus in Betracht gezogen werden. Dies ist vor allem auf die noch geringen Erfahrungen im Umgang mit Naturfasern und die noch nicht für diesen Zweck gedachten Gewebe zurückzuführen.

Für die Zukunft bieten deshalb Naturfaserverbundwerkstoffe ein großes Entwicklungspotenzial in Bezug auf ihre Leistungsfähigkeit und sind eine ernst zu nehmende zukunftsweisende Alternative, wenn es um nachhaltige Werkstoffe geht. Das größte Entwicklungspotenzial bieten dabei die Fasern und die aus ihnen gefertigten Gewebe, Matten und Vliese, da diese bisher nicht speziell für diesen Einsatzzweck hergestellt wurden.

Durch eine Anpassung der Gewebe aus Naturfasern an die Anforderungen von Faserverbundwerkstoffen wird es möglich sein, die Verarbeitung zu vereinfachen und die Leistungsfähigkeit der Naturfaserverbundwerkstoffe weiter zu erhöhen.