



TECHNISCHE UNIVERSITÄT  
CHEMNITZ

Technische Universität Chemnitz  
Fakultät für Maschinenbau



POLYTEC Interior GmbH  
Forschung & Entwicklung

## Abschlussbericht

Förderprojekt:

# Faserpflanzenstängel für Konstruktionswerkstoffe

gefördert durch



Bundesministerium für  
Ernährung, Landwirtschaft  
und Verbraucherschutz



Förderkennzeichen: 22011304 / 22012305

Dauer: 01.09.2005 bis 28.02.2007

Vorgelegt von: Prof. Dr.-Ing. habil L. Kroll  
Technische Universität Chemnitz  
Fakultät für Maschinenbau  
Professur Strukturleichtbau und  
Kunststoffverarbeitung  
D-09107 Chemnitz  
Web: [www.strukturleichtbau.net](http://www.strukturleichtbau.net)

Dipl.-Ing. (mult.) K. Philipp  
POLYTEC INTERIOR GmbH  
Dieselweg 10  
D-82538 Geretsried  
Web: [www.polytec-group.com](http://www.polytec-group.com)

Bearbeiter: Dr.-Ing. W. Nendel  
Dipl.-Ing. R. Rinberg  
Dipl.-Ing. Ch. Unger

Dipl.-Ing. (FH) M. Roscher  
Dipl.-Ing. (FH) Ch. Pfaffenrath

14. Mai 2007

## **Aufbau und Inhalt des Berichts**

Abschlussbericht zum Förderprojekt „Faserpflanzenstängel für Konstruktionswerkstoffe“

44	Seiten
27	Abbildungen
4	Tabellen

## **Zusammenfassung**

Neben den allgemein wachsenden Märkten im Kunststoff-Sektor, ist in vielen Bereichen des Automobilbereichs zu beobachten, dass naturfaserverstärkte Faserverbundwerkstoffe weltweit in steigendem Maße in Strukturbauteilen eingesetzt werden. Über eine gezielte Werkstoffentwicklung auf der Faserseite, einer Matrix-Anpassung, der Konzeption und Umsetzung einer Prototypenanlage für die Weiterverarbeitung, ist es möglich zu wettbewerbsfähigen Bauteilen zu gelangen.

Mit folgenden Anlagenkomponenten werden Musterbauteile für den Automobil-Innenraum am Beispiel einer Türverkleidung umgesetzt: (a) Schneidanlage (Stängeleinkürzung), (b) Quetscheinrichtung (Stängel mechanisch aufbereiten), (c) Streueinrichtung (Halbzeug bzw. Matte herstellen) und (d) Sprühauftrag (Halbzeug imprägnieren).

Mit angepassten Matrixsystemen (Polyurethanen) der seriennahen Produktion werden zunächst verschiedene Matten-Varianten untersucht und im Platten-Stadium verarbeitet. In einer umfassenden Betrachtung der mechanischen Eigenschaften, werden diese Faserverbundwerkstoffe charakterisiert und analysiert. Im nächsten Schritt werden die gewonnenen Erkenntnisse in Halbzeugen umgesetzt, die in technischen Bauteilen (Türverkleidungen) Verwendung finden. Über den Türverkleidungs-Herstellungsprozess werden die Verformungs-, Imprägnier- und Verarbeitungseigenschaften analysiert und entsprechend angepasst. Parallel werden unterschiedliche Ernteverfahren und deren Auswirkung auf die Vergleichmäßigung der Halbzeuge und deren Eigenschaften im Bauteil untersucht. Die optimierten Press-Teile werden in einem letzten Schritt über einen Vakuum-Kaschier-Prozess mit einer Folien-Oberfläche versehen. Dabei kommen verschiedene Klebersysteme zum Einsatz und über entsprechende Klima-Wechsel-Prüfungen auf deren Eignung im Innenraum getestet. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung umfasst die komplette Halbzeugherstellung und wird mit aktuell im Einsatz befindlichen bastfaserverstärkten Werkstoffen auf Flachs-Basis verglichen. Der Kostenvorteil liegt aufgrund der Verwendung des kompletten Pflanzenstängels bei realen 12% gegenüber einem „reinen“ Flachs-Faser-Verbund.

## **Schlagworte**

Flachs, Grünflachsstängel, Ganzpflanzenverwertung, Faserverbundwerkstoff, Polyurethan, Matrixanteil, Pressverfahren, Halbzeug, Flächengewicht, Schneidanlage, Quetscheinrichtung, Streueinrichtung, Sprühauftrag, Halbzeugherstellung, Türverkleidung.

## **Danksagung**

Das vorliegende Projekt entstand aus dem Teilvorhaben 1 und einer Kooperation zwischen der BMW AG und der Technischen Universität Chemnitz. Die technische Umsetzung in dem Teilvorhaben 2, übernahmen die POLYTEC Interior GmbH und die Technische Universität Chemnitz. Über die Einbindung der Firmen Stöckl Sondermaschinenbau GmbH, Sachsen Leinen GmbH und Ingenieurbüro für Naturfasertechnologien Dr. Paulitz konnte das Projekt abgerundet werden. Die Polytec Interior GmbH ermöglichte die Überführung der Ergebnisse in die seriennahe Prozesstechnik und in die praktische Anwendung.

Den Herren Bratherig und Forster von der BMW AG gilt unsere besondere Anerkennung für die Übernahme der Coaching-Funktion als OEM.

Wertvolle wissenschaftliche Unterstützung bei der Konzipierung und Umsetzung um die Erntetechnik, Weiterverarbeitung, Halbzeugherstellung und Optimierung erhielten wir von Herrn Prof. Dr. Köhler und Herrn Prof. Dr. Kroll von der Technischen Universität Chemnitz, Fakultät für Maschinenbau.

Herrn Brückner gilt unser Dank für die Betreuung und die Anregungen bei allen Fragen um die Erntetechnik und die Flachs-Bereitstellung.

Weiterhin bedanken wir uns bei den Herren Stöckl und Dr. Paulitz, denn ihr Input stellte die anlagentechnische Umsetzung erst sicher.

Unser Dank gilt auch den Kolleginnen und Kollegen bei der Polytec Interior für das gute Arbeitsklima, die vielfältige Unterstützung und die wertvollen Hinweise. Herrn Roscher und Pfaffenrath möchten wir dabei ganz besonders danken. Durch ihre fachliche Kompetenz und Gesprächsbereitschaft haben sie wertvolle Ansätze eingebracht und die zielorientierte Bearbeitung gefördert.

Besonders bedanken möchten wir uns bei den Mitarbeiterinnen des Zentrallabors der Polytec Interior, Frau Luchian und Frau Fogus und den Mitarbeitern des Werkstoffprüflabors der TU Chemnitz Herrn Liebold und Frau Kandler für die Unterstützung bei theoretischen und praktischen Belangen hinsichtlich der Werkstoff-Prüfungen.

Außerdem danken wir den Kollegen des Prototype Technology Centers (PTC) der Polytec Interior, die durch ihre Unterstützung wesentlich zum Gelingen des Projektes beitrugen.

Persönlich danken möchten wir natürlich auch Frau Herrmann von der FNR, die die Umsetzung des Projektes mit der finanziellen Unterstützung durch das BMVEL erst ermöglichte.

*Projektteam*

## Inhaltsverzeichnis

1. Aufgabenstellung.....	8
2. Umsetzung des Vorhabens .....	9
2.1 Voraussetzungen.....	9
2.2 Zusammenarbeit.....	10
3. Planung und Ablauf des Vorhabens .....	12
4. Stand des Wissens und der Technik .....	13
5. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse.....	18
5.1 Technologiekonzept .....	18
5.2 Rohstoffbereitstellung.....	21
5.3 Einkürzung der Flachsstängel .....	24
5.4 Aufbereitung des Rohstoffs .....	26
5.5 Halbzeugherstellung.....	29
5.6 Harzauftrag .....	34
5.7 Verpressen zum Fertigteil.....	36
5.8 Bauteilmuster.....	38
5.9 Zusammenfassung .....	42
6. Verwertung der Projektergebnisse .....	43
7. Patentrechtliche Situation.....	44
8. Veröffentlichung der Projektergebnisse.....	44

## Abkürzungsverzeichnis

<i>2K</i>	2-komponentig, 2-Komponenten-
<i>BMVEL</i>	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft
<i>CNC</i>	Computerized Numerical Control
<i>EP</i>	Epoxidharz
<i>FKV</i>	Faser-Kunststoff-Verbund
<i>FNR</i>	Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe
<i>FVW</i>	Faser-Verbund-Werkstoff
<i>Kfz</i>	Kraftfahrzeug
<i>LFI</i>	Long Fiber Injektion
<i>NFI</i>	Natural Fiber Injektion
<i>NFK</i>	Naturfaserverstärkter Kunststoff
<i>PEs</i>	Polyester
<i>Pkw</i>	Personenkraftwagen
<i>PP</i>	Polypropylen
<i>PUR</i>	Polyurethan
<i>RT</i>	Raumtemperatur
<i>TPE</i>	Thermoplastische Elastomere
<i>TV</i>	Türverkleidung

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Geplanter Projektablauf.....	12
Abbildung 2: Interior-Teile auf Basis von Naturfaser-Verbundwerkstoffen (Türverkleidung BMW 3er, Kofferraumseitenverkleidung, Heckklappe und Rückenlehne Audi A4, Quelle: Polytec Group) .....	13
Abbildung 3: Naturfaser-Materialvorlage und flächiges Halbzeug .....	15
Abbildung 4: Werkzeugansicht und Türverkleidung aus PP und TPE in 2K-Spritzguss .....	16
Abbildung 5: Rohstoffvorlage – Standardrundballen mit Parallellage der Strohhalme.....	18
Abbildung 6: Rohstoffaufbereitung. Herstellung eines flächigen Halbzeugs.....	19
Abbildung 7: Verarbeitung mit duromeren Matrix-Harzen im Heißpressverfahren.....	20
Abbildung 8: Wurzelfreie Flachsrundballen.....	22
Abbildung 9: Entwurf und Aufbau der (halbautomatischen) Schneideinrichtung .....	24
Abbildung 10: Ausgangsmaterial (links) und eingekürzte Flachsstängel (rechts) .....	25
Abbildung 11: Mechanischer Aufschluss der Flachshalme .....	26
Abbildung 12: Realisierte Quetscheinrichtung .....	27
Abbildung 13: Einfluss der Restfeuchte auf das Quetschverhalten der Flachsstängel .....	28
Abbildung 14: Aufbau des entwickelten Flachsstängel-Halbzeugs .....	32
Abbildung 15: Ansicht der entwickelten Streueinrichtung .....	32
Abbildung 16: Nähtechnische Fixierung des Halbzeugs.....	33
Abbildung 17: Entwickelte und erprobte Halbzeugvarianten.....	33
Abbildung 18: Verfahrensschema für die Verarbeitung des Halbzeugs zum Bauteil .....	34
Abbildung 19: Beharzungsanlage in Arbeit. CNC-gesteuerter Sprühauftrag .....	35
Abbildung 20: Halbzeugzuschnitte. Vortrocknung vor dem Harzauftrag.....	35
Abbildung 21: Referenzbauteil - Türseitenverkleidung 1er BMW.....	36
Abbildung 22: Imprägniertes Halbzeug vor dem Pressen .....	37
Abbildung 23: Bauteil nach dem Entformen .....	37
Abbildung 24: Planplatte mit Vlies-Decklage.....	38
Abbildung 25: Bauteil-Rohträger (links - Kunstfaser-Abdeckvlies, rechts - Jutegewebe) .....	41
Abbildung 26: 1er BMW Serientürverkleidung (ca. 2120 g) .....	41
Abbildung 27: 1er BMW Grünflachstürverkleidung (ca. 1650 g) .....	41

# 1. Aufgabenstellung

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung und anlagentechnische Umsetzung einer neuartigen Technologie zur Herstellung von Strukturbauteilen für den automobilen Innenraum auf der Basis von naturfaserverstärkten Verbundwerkstoffen. Das zu entwickelnde Verfahren soll durch eine nahezu 100% Pflanzenverwertung und durch Verkürzung der Prozesskette eine Kostenminimierung von ca. 30% gewährleisten. Die geplanten Schwerpunkte können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- ✓ Entwicklung und anlagentechnische Umsetzung eines Konzeptes zur Rohstoffbereitstellung und -aufbereitung,
- ✓ Entwicklung und anlagentechnische Umsetzung von Wirkpaarungen zur Weiterverarbeitung des aufbereiteten Rohmaterials zu Kfz-Strukturbauteilen,
- ✓ Grundlagenuntersuchungen zur Werkstoffentwicklung sowie Optimierung der Prozessparameter.

Ferner sollen ausgewählte Aspekte der Bereitstellung des landwirtschaftlichen Rohstoffs aus der Sicht langfristiger Verfügbarkeit analysiert und dargestellt werden.

Da für die Endverarbeitung zum Fertigteil auf etablierte Harz-Systeme und bestehende Technologien der Automobilindustrie zurückgegriffen werden kann, soll zur Prüfung der Realisierbarkeit angestrebter Kostenminimierung das im Rahmen des Vorhabens entwickelte Halbzeug als Referenzprodukt herangezogen werden.



## **2. Umsetzung des Vorhabens**

### **2.1 Voraussetzungen**

Das Projektvorhaben basiert auf den Erkenntnissen, die in der von FNR e. V. geförderten Vorstudie „Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Kfz-Strukturbauteilen unter Verwendung nicht entholzter Stängel der Flachspflanze“ gewonnen wurden. In dieser Studie wurde im Labormaßstab nachgewiesen, dass mit dem neuartigen Werkstoffkonzept die geforderten mechanischen Kennwerte erzielt werden können.

Die wichtigste Voraussetzung für die Umsetzung des Vorhabens besteht in der Möglichkeit einer deutlichen Kosteneinsparung im Vergleich zu konventionellen Lösungen mit Naturfaserverbundwerkstoffen. Diese Senkung der Herstellungskosten ist erst durch die Verwertung der Flachspflanze als Ganzes erreichbar und sollte in Verbindung mit weiteren bereits bekannten Vorteilen von Naturfasern der Wettbewerbsfähigkeit des neuen Produktes gegenüber Spritzgieß- und Spritzprägetechnologie erheblich beitragen.

Eine weitere Voraussetzung ist mit der Verfügbarkeit des landwirtschaftlichen Rohstoffs verbunden. In Deutschland ist der Flachsanzbau für technische Zwecke gegenwärtig nicht wirtschaftlich, da die aus dem heimischen Rohstoff gewonnenen Fasern mit importiertem Schwungwerg, das als Nebenprodukt der textilen Langfaserproduktion anfällt, preislich nicht konkurrieren können. Somit sind die deutschen Anwender von Flachsfasern von ausländischen Lieferanten abhängig. Durch den neuen Technologieansatz der Ganzpflanzenverwertung ist es denkbar, den Flachsanzbau für die einheimische Landwirtschaft wieder attraktiv zu machen und die Verfügbarkeit dieses Rohstoffs für die deutsche Industrie sicherzustellen. Wegen seines Preisniveaus besitzt Flachsstroh eine geringere Transportwürdigkeit als Flachsfasern. Damit wird nur der regionale Anbau in unmittelbarer Nähe eines Verarbeitungszentrums, das durch die Umgehung der Fasergewinnung direkt dem Automobilzulieferer zugeordnet sein wird, zu wirtschaftlichen Ergebnissen führen. Außerdem besteht der neue Rohstoff aus ungeröstetem Material, das vergleichsweise einsetzbare Nebenprodukt Schwungwerg wird allerdings immer aus Röststroh hergestellt. Hiermit ergeben sich durch den Wegfall der Feldröste deutlich kürzere Feldliegezeiten sowie eine erhöhte Anbauwürdigkeit.

Weiterhin stellt die Nutzung bewährter Technologien für Flachsanzbau und -ernte eine vorteilhafte Grundlage für die Realisierung der Projektziele dar. Es kann hierbei an die klassischen Methoden angeknüpft werden. Zahlreiche Erkenntnisse können bei der Entwicklung kostenoptimierter Verfahrensvarianten sowie zur Lösungsfindung in problematischen Bereichen herangezogen werden.

Erfahrungen auf dem Gebiet der Naturfasertechnologien in der Automobilbranche können unter Vorbehalt entsprechender Anpassung auf das neue Werkstoffkonzept ebenfalls übertragen werden. Die Automobilzulieferer verarbeiten seit Jahren verschiedene Naturfaserhalbzeuge zu Bauteilen des Kfz-Insassenraums. Die vorgeschlagene Innovation beruht deshalb auf einer soliden Basis etablierter Verfahrenstechniken, die die von der Automobilindustrie geforderte Qualität des Endproduktes und Reproduzierbarkeit der Bauteileigenschaften sowie präzise Prozessüberwachung gewährleisten können.

Anschließend lassen sich die Voraussetzungen für die Umsetzung des Vorhabens wie folgt zusammenfassen:

- Erkenntnisse aus der Projekt-Vorstudie „Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Kfz-Strukturbauteilen unter Verwendung nicht entholzter Stängel der Flachspflanze“
- Potenzial einer deutlichen Kosteneinsparung bei der Halbzeugherstellung durch die Ganzpflanzenverwertung und Verkürzung der Materialaufbereitungskette
- Sicherstellung der langfristigen Verfügbarkeit des landwirtschaftlichen Rohstoffs
- Einbeziehung bestehender Erfahrungen sowohl aus der Landwirtschaft als auch aus der Automobilindustrie
- Wettbewerbsfähigkeit des Entwicklungsproduktes gegenüber Konkurrenzlösungen durch innovativen Technologievorschlag

## **2.2 Zusammenarbeit**

Einer erfolgreichen Realisierung der Projektziele wird eine enge Zusammenarbeit der Projektpartner vorausgesetzt. Die im Rahmen des Vorhabens geplanten Aufgaben konnten dank einer aktiven Kooperation zwischen der TU Chemnitz als Forschungseinrichtung, der Fa. Polytec Interior GmbH als Industriepartner aus der Automobilbranche sowie Unterauftragnehmer Fa. SachsenLeinen GmbH, Fa. Stöckl Sondermaschinenbau GmbH und Ingenieurbüro für Naturfasertechnologien Dresden bis zur angestrebten Entwicklungsstufe bearbeitet werden. Persönliches Engagement der am Projekt beteiligten Mitarbeiter und korrekte Aufgabenaufteilung trugen dazu bei, dass der vorgesehene Zeitraum von insgesamt 18 Monaten eingehalten werden konnte.

Im Laufe der Entwicklungsarbeiten wurden durch einen intensiven Ideen- und Informationsaustausch unter den Projektpartnern sowie durch die Einbeziehung von Erkenntnissen aus anderen Bereichen von Wissenschaft, Industrie und Technik neue

Lösungsansätze abgeleitet, so dass auch weitere Anschlussmöglichkeiten zur Verwertung der Projektergebnisse erschlossen werden konnten.

Da das Vorhaben mit dem Erreichen des Prototypstadiums abgeschlossen wurde, bedarf es einer Weiterentwicklung bis zu einem marktreifen Produkt. Die als Folge der Zusammenarbeit entstandene Konzentration der Kompetenzen schafft eine solide Grundlage für eine spätere Umsetzung der neuartigen Technologie in der Serie sowie eine erfolversprechende Markteinführung.

### 3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Bei der Planung des Vorhabens wurde die Zeitachse auf 18 Monate kalkuliert, was annähernd einer halben Entwicklungsdauer eines Serienteils des Pkw-Innenraums entspricht. Eine solche Projektplanung erforderte eine zeitgleiche Bearbeitung von mehreren Teilaufgaben. Die Realisierung der Arbeitspakete erfolgte insgesamt personen-, plan- und termingerecht, wie es der Abbildung 1 zu entnehmen ist.

Projekttafel		2 0 0 5				2 0 0 6												0 7	
		9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2
1	Bereitstellung der Naturfaser-Rohstoffpartien	■	■	■															
2	Entwicklung und Umsetzung einer Lösungskonzeption zur Ballenweiterverarbeitung	■	■	■															
3	Entwicklung und Umsetzung einer Lösungskonzeption zur Stängeleinkürzung	■	■	■															
4	Entwicklung und Umsetzung einer Lösungskonzeption zur Modifizierung des eingekürzten Halmgutes	■	■	■	■	■													
5	Entwicklung von Verfahrensvarianten zur Weiterverarbeitung der modifizierten Stängel zu Bauteilen	■	■	■	■	■													
6	Auswahl eines Referenzbauteils und Aufbau eines Werkzeugs zur dessen Herstellung in Kleinserie		■	■	■	■													
7	Untersuchungen zur geeigneten Materialentwicklung Validierung von Werkstoffeigenschaften					■	■	■	■										
8	Entwicklung von Wirkpaarungen und Anschaffung von Prototypen der Baugruppen					■	■	■	■	■	■	■							
9	Komplettierung der Gesamtanlage. Probebetrieb/Vorversuche. Musterproduktion								■	■	■	■	■	■	■				
10	Komplexe Bauteilbewertung													■	■	■	■	■	■
11	Scale up: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, Anlagenoptimierung Erstellen und Validieren der Materialspezifikation													■	■	■	■	■	■
12	Projektabschluss: Zusammenfassung erzielter Ergebnisse Erstellung des Abschlussberichtes																		■

Abbildung 1: Geplanter Projekttafel

Bezüglich der anlagentechnischen Realisierung der Fertigungskette und der Verwirklichung der Projektziele wurde der gesamte Verarbeitungsprozess des landwirtschaftlichen Rohstoffs zu fertigem Bauteil in drei Fertigungsstufen wie folgt aufgeteilt:

1. Anbau- und Erntemaßnahmen sowie entsprechende mechanische Aufbereitung und Bergung des landwirtschaftlichen Rohstoffs → Standort Waldenburg (Sachsen)
2. Halbzeugherstellung: Streuen und anschließende nährwirksame Fixierung der Halbzeugmatte, Halbzeugparametrisierung → Standort Chemnitz (Sachsen)
3. Bauteil- und Prototypenherstellung: Harzauftrag, Heißpressen, Kaschieren, Validierung der Bauteileigenschaften → Standort Geretsried (Bayern)

Die geplante Entwicklungsdauer von 18 Monaten wurde eingehalten.

## 4. Stand des Wissens und der Technik

Zahlreiche Bauteile der Kfz-Innenraumausstattung auf Basis von naturfaserverstärkten Kunststoffen eroberten bei Automobilherstellern seit Jahren dank ihrer Attraktivität einen festen Platz. Etablierte Fertigungstechnologien, nahezu gleichbleibendes Preisniveau und günstiges Eigenschaftsspektrum überzeugen viele Hersteller und Automobilzulieferer in Deutschland um weltweit bedeutsame Investitionen in diese Materialien und entsprechende Verarbeitungsanlagen zu tätigen. Aber auch umfassende Initiativen, die technische Verwertung dieser nachwachsenden Rohstoffe und Weiterentwicklung der Verarbeitungstechnologien staatlich zu fördern, sind weitgehend bekannt und trugen zur Verbreitung dieser Werkstoffe bei.

Naturfaserverstärkte Materialien werden hauptsächlich im Bereich des Pkw-Interieurs zu Funktionsbauteilen mit großen Flächen und Stützweiten verarbeitet (siehe Abbildung 2). Außerdem sind Bestrebungen bekannt, diese Werkstoffe im automobilen Außenbereich einzusetzen. Die ersten Serienteile für den Unterbodenbereich werden laut den aktuell durchgeführten Informationsrecherchen bei einigen Mercedes-Modellen verbaut.



**Abbildung 2: Interior-Teile auf Basis von Naturfaser-Verbundwerkstoffen (Türverkleidung BMW 3er, Kofferraumseitenverkleidung, Heckklappe und Rückenlehne Audi A4, Quelle: Polytec Group)**

Mittlerweile werden unter Verwendung von Naturfaserhalbzeugen solche Bauteile, wie z. B. Türseitenverkleidungen, Sitzrücklehnen, Hutablagen, Kofferraumböden, Kofferraumauskleidungen, komplette Instrumententafel hergestellt. Hierbei kommen verschiedenste Bastfasern, wie Flachs-, Jutte-, Sisal-, Abakka-, Hanffasern usw. zum Einsatz. Diese werden in Form von verschiedenen Halbzeugen von der Einzelfaser bis zu Geweben, Vliesstoffen, vorimprägnierten Fasermatten (Prepregs) in Verbindung mit thermoplastischen und duromeren Matrixwerkstoffen zu Bauteilen verarbeitet.

Nahezu alle diese Anwendungen sind an ein flächiges Halbzeug gebunden und von seinen Eigenschaften unmittelbar abhängig. Deswegen gewann die Herstellung von derartigen Naturfaserhalbzeugen große Bedeutung.

Der aktuelle Stand der Technik auf dem Gebiet Naturfaserhalbzeuge für den automobilen Bereich sind Naturfasermatten, -vliesstoffe und -gewebe. Unter solchen sind Matten und Vliesstoffe dank ihrer Flexibilität in der Verarbeitung, ausreichend gutem Eigenschaftsprofil und Wirtschaftlichkeit sehr verbreitet. Hierbei sind so genannte Nadelvliese von besonderer Bedeutung.

Die nadelverfestigten Naturfaservliesstoffe untergliedern sich in reine Naturfaservliesstoffe (z. B. Flachsvlies, Flachs-Sisal-Vlies usw.) und Hybridvliesstoffe (vorwiegend Flach-PP-Vliese), bei denen die Naturfasern mit thermoplastischen Kunstfasern vermischt sind. Naturfaservliesstoffe werden generell aus Kurzfasern hergestellt, die als Nebenprodukt der Textilindustrie anfallen. Dadurch liegt der Preis für technische Naturfaser-Rohstoffe entsprechend niedrig, was deren Verwendung in Automobilteilen interessant macht. Nachteilig ist momentan die Tatsache, dass die deutsche Automobilindustrie in Hinblick auf Verfügbarkeit solcher Rohstoffe von ausländischen Naturfaser-Lieferanten vollkommen abhängig ist.

Zur Herstellung von Naturfaservliesen und -matten werden verschiedene Verfahren eingesetzt. In der Regel werden die aufgelockerten Naturfasern zu einer gleichmäßigen Schicht gelegt und anschließend zu einer flächigen Ware verfestigt. Bei der Vlieslegung wird hier zwischen mechanischen und aerodynamischen Methoden unterschieden. Unter Verfestigungstechnologien sind Nadelverfestigung, Thermobonding, klebetechnische Verfahren, Wasserstrahlverfestigung, Maliwatt- und Napco-Technologie usw. zu nennen. Für sämtliche Verfahrensvarianten ist die Materialvorlage in Form von aufgeschlossenen Fasern zwingend erforderlich. Die Abbildung 3 stellt beispielsweise das Ausgangsmaterial und daraus gefertigtes flächiges Naturfaserhalbzeug dar.



**Abbildung 3: Naturfaser-Materialvorlage und flächiges Halbzeug**

Die reinen Naturfaservliesstoffe werden mit duroplastischen Matrixharzen im Laminier-, Heißpress- oder Vakuumverfahren zu harten und tragfähigen Bauteilen verarbeitet. Die Kaschierung erfolgt bei duroplastischen Werkstoffen erst nach dem Aushärten des Naturfaser-Trägereils und stellt somit einen separaten und aufwendigen Prozess dar. Die Hybridvliese werden über den Erweichungspunkt erhitzt und unverzüglich im kalten Presswerkzeug zu einem Bauteil umgeformt. Die mechanischen Eigenschaften liegen unterhalb derjenigen von duroplastischen Bauteilen. Allerdings ermöglicht diese Halbzeugart die Umformung und Kaschierung in einem Schritt zu realisieren, was einen positiven Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit dieser Bauteile zur Folge hat.

Alternativ zu den Herstellungsverfahren, die an ein flächiges Halbzeug gebundenen sind, wurde aktuell das NFI-Direktverarbeitungsverfahren entwickelt und technisch umgesetzt. Die bereits bekannte LFI-Technik (Long Fiber Injection) wurde unter der Bezeichnung NFI (Natural Fiber Injection) für den Einsatz von Flachs, Hanf oder Sisal modifiziert. Beim NFI-Verfahren kommt ein neu entwickeltes Naturfaser-Schneidwerk zum Einsatz. Als Halbzeug wird hierbei ein auf eine Spule aufgewickeltes endloses Naturfaser-Roving verwendet. Das Ablängen der Naturfasern (auf 5, 10, 15 und 20 mm) erfolgt dabei durch eine speziell entwickelte Anordnung aus zwei ineinander greifenden Zahnrädern, die auch den Transport des Rovings vornehmen. Der NFI-Mischkopf selbst arbeitet nach dem Hochdruck-Gegenstrominjektionsprinzip. Der Naturfaser-Anteil kann etwa 40 %-Gew. erreichen. Die Naturfaser-Austragsleistungen betragen beim derzeitigen Entwicklungsstand rund 80 g/s. Damit lassen sich bereits heute Formteile, die bislang im LFI-Verfahren mit Glasfasermaterialien hergestellt wurden, in vergleichbarer Qualität auch in NFI-Technik produzieren. Bei einer Bauteilmasse von 4000 g beträgt die typische NFI-Austragszeit rund 20 s (Zykluszeit pro Werkzeug: 2 bis 4 min). Anschließend wird die aufgetragene Schicht in der heißen Umformpresse zum Bauteil verpresst. Besondere Vorteile dieses Verfahrens liegen offensichtlich in einer nicht auf ein flächiges Halbzeug gebundenen Fertigung. Dies



erhöht einerseits die Flexibilität der Herstellungstechnologie und beschränkt andererseits die Produktpalette auf Bauteile einfacher Geometrie mit geringen bis mittleren Umformgraden.

Die modernen Naturfaserlösungen für die Anwendungen im automobilen Innenraum stehen in einem starken Wettbewerb gegenüber Spritzgieß- und Spritzprägeverfahren. Die neusten Entwicklungen der Spritzgießtechnik, wie z. B. Mehrkomponenten-Spritzguss, erlauben in einem Verfahrensschritt eine optimale Bauteiloberfläche zu erzeugen, die Implementierung von Inserts und Befestigungselementen zu realisieren. Dadurch kann der nachträgliche Montageaufwand und damit verbundene Bauteilkosten reduziert werden. Auf der Abbildung 4 ist als Beispiel ein Spritzgießwerkzeug und spritzgegossene Türseitenverkleidungen gezeigt.



**Abbildung 4: Werkzeugansicht und Türverkleidung aus PP und TPE in 2K-Spritzguss**

Den aufgezählten Vorteilen vom Spritzguss stehen verglichen mit Naturfaservarianten auch einige wesentliche Nachteile gegenüber. So unterliegen die akustischen Eigenschaften, Bauteilverhalten beim Crash (Splitterbildung, scharfe Bruchkanten), gewichtsbezogene Festigkeit und Biegesteifigkeit, Energie- und CO<sub>2</sub>-Bilanz im gesamten Lebenszyklus deutlich denjenigen von Naturfaserwerkstoffen. Eine zwangsläufige Abhängigkeit vom Ölpreis und der Situation auf dem Erdölmarkt ist bei den gespritzten Bauteilen im Vergleich zu naturfaserbasierten Bauteilen erheblich stärker ausgeprägt.

Eine oftmals entscheidende Rolle bei der Wahl des Werkstoff- und Technologiekonzeptes für ein konkretes Bauteil spielt der Kostenfaktor. Aus diesem Grund werden für die Massenproduktion im Bereich der Kfz-Technik kostengünstigere Halbzeuge sowie innovative energie- und kostensparende Herstellungstechnologien verstärkt gefragt. In Bezug auf Naturfaserverbundwerkstoffe wird die Erschließung von noch nicht genutzten Potentialen

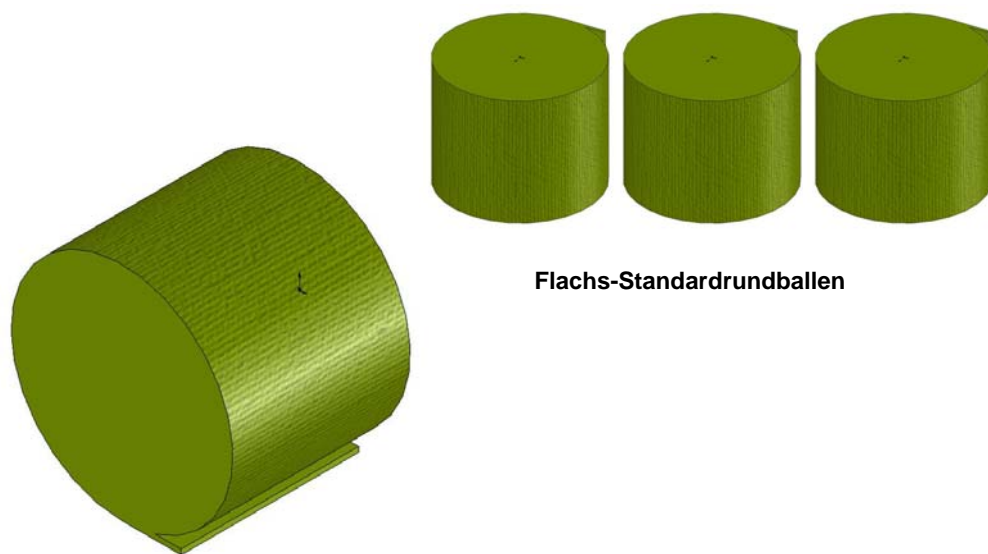


sowohl in der Rohstoffbereitstellung als auch Halbzeugherstellung und Weiterverarbeitung zu Endprodukten angestrebt. Obwohl bereits vielfältige Anstrengungen unternommen wurden, eine Kostenminimierung durch eine Verkürzung der Prozesskette bzw. durch die Rückführung von Produktionsbegleitstoffen in den Vliesstoff (bei wasserstrahlverfestigten Vliesstoffen) zu erzielen, wurden bislang keine Verfahrensvarianten zu einer direkten ganzheitlichen Verarbeitung des Naturfaser-Rohstoffs zu Strukturbauteilen unter Umgehung der Fasergewinnung industriell realisiert.

## 5. Darstellung und Diskussion der Ergebnisse

### 5.1 Technologiekonzept

Der entwickelte Technologieansatz basiert auf der Verwendung von Standardrundballen (Abbildung 5) als Rohstoffvorlage mit einer nahezu parallelen Anordnung der Flachshalme, die nach der klassischen Erntetechnologie im grünen Zustand geerntet und feldtrocken mithilfe von Ballenpressmaschinen gepresst werden. Die Betrachtungen einem möglichen Einsatz von alternativen Rohstoffvorlagen sind den Kapiteln 5.2 und 5.3 zu entnehmen.



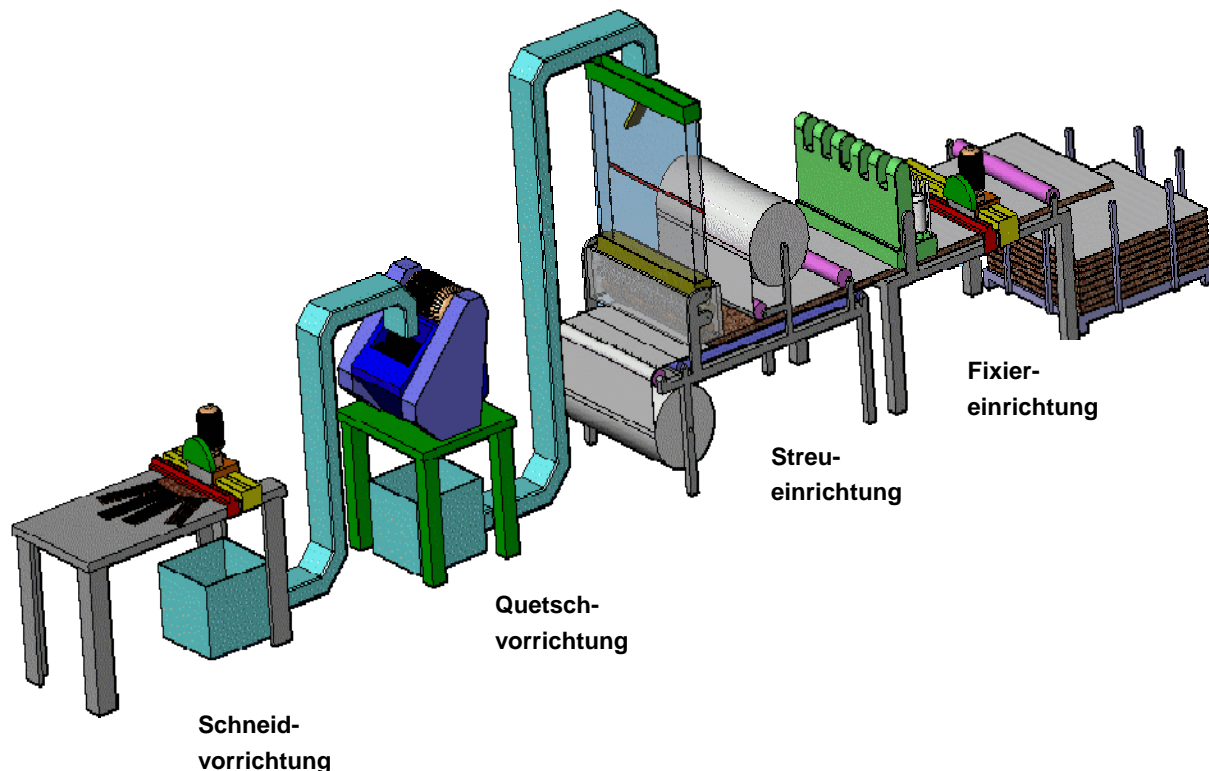
**Abbildung 5: Rohstoffvorlage – Standardrundballen mit Parallellage der Strohhalme**

Generell kann das geplante Technologiekonzept zur Herstellung eines neuartigen Werkstoffs und Bauteils in drei Abschnitte unterteilt werden:

- *Bereitstellung des landwirtschaftlichen Rohstoffs:* Anbau- und Erntemaßnahmen, Ballenpressen und Bergung des Erntegutes
- *Aufbereitung und Halbzeugherstellung:* Ballenauflösung, Stängелеinkürzung und -aufbereitung, Vlieslegung, Halbzeugfixierung und -zuschnitt
- *Endverarbeitung zu Bauteilen:* Matrixharzauftrag, Verpressen zum Formteil und anschließende Kaschierung

Entsprechend dem entwickelten Verfahrenskonzept für die Aufbereitung und Halbzeugherstellung werden die Grünflachstängel von Feld geerntet und im lagerfähigen Zustand mit weniger als 15% Restfeuchte zu Standardrundballen gepresst. Diese Flachsballen werden bei der Weiterverarbeitung aufgelöst (abgewickelt) und entsprechend Vorgaben mit Hilfe einer Schneideinrichtung auf eine definierte Länge eingekürzt. Die entstandenen Stängelabschnitte werden ferner einer Aufbereitungsanlage zugeführt und

unter Unterbindung der Entholzung aufgeschlossen, wie es die Abbildung 6 darstellt. Das aufbereitete Stängelmaterial wird im Weiteren mittels einer Streueinrichtung zu einer gleichmäßigen Schicht mit einem definierten Flächengewicht zwischen einem Unter- und Obervlies gelegt und zur Fixiereinrichtung transportiert. Die Fixierung zu einem flächigen Halbzeug geschieht durch das Vernähen der Halbzeuggbahn in Längsrichtung. Das fertige Halbzeug kann entweder auf eine Rolle aufgewickelt oder direkt auf eine vorgegebene Größe zugeschnitten werden. Den kompletten Ablauf der Verarbeitungstrecke für die Halbzeugherstellung stellt die Abbildung 6 dar.



**Abbildung 6: Rohstoffaufbereitung. Herstellung eines flächigen Halbzeugs**

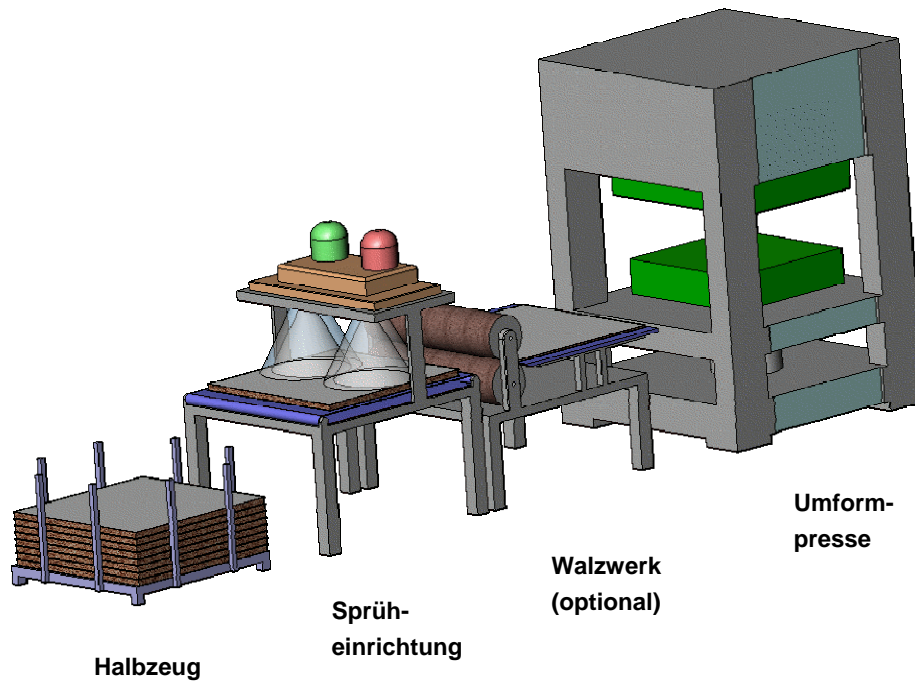
Im nächsten Schritt erfolgt die Endverarbeitung des neuartigen Stängel-Halbzeugs zu einem der Bauteile der Innenraumausstattung. Die Abbildung 7 verdeutlicht die Vorgehensweise bei der Verarbeitung des entwickelten Halbzeugs mit duromeren Matrixwerkstoffen.

Die vorkonfektionierten Halbzeugzuschnitte werden vorgetrocknet und im Sprühverfahren mit dem Matrixharz versehen. Ein optionales Walzwerk sorgt für optimale Harzverteilung über den Querschnitt des späteren Bauteils. Der Umformprozess zu einem tragfähigen Bauteilträger erfolgt in einer beheizbaren Umformpresse. Hierbei wird das noch flüssige Harzsystem vollständig konsolidiert. Zur Kaschierung werden anschließend die bereits etablierten Kaschierverfahren, -anlagen und -materialien eingesetzt.

Entsprechend dem beschriebenen Verfahrensschema und der Aufteilung von Kernkompetenzen der Projektpartner wurden die Standorte für Flachsanbauversuche,

Aufbereitung des landwirtschaftlichen Rohstoffs und Halbzeugherstellung sowie die Endverarbeitung zu Bauteilen wie folgt festgelegt:

- Anbau und Lagerung von Grünflachs – Standort Waldenburg
- Aufbereitung und Halbzeugherstellung – Standort Chemnitz
- Bauteilherstellung und -kaschierung – Standort Geretsried



**Abbildung 7: Verarbeitung mit duromeren Matrix-Harzen im Heißpressverfahren**

Die ausführliche Beschreibung der entwickelten Technologie und realisierten Anlagentechnik ist nachfolgenden Kapiteln zu entnehmen.

## **5.2 Rohstoffbereitstellung**

Grundlage für die Durchführung der landwirtschaftlich-erntetechnologischen Untersuchungen sind die Forschungsaktivitäten zur Herstellung von Gelegen aus ungerösteten und nicht entholzten Flachsstängelabschnitten mit dem Ziel der Herstellung von Fahrzeugformteilen. Bei der Vorbereitung der Versuchsplanung konnten vieljährige Erfahrungen aus dem Bereich der Gewinnung von Flachsstroh zur textilen Nutzung sowie Erfahrungen speziell für die Gewinnung von Stroh für das Forschungsziel einbezogen werden.

Zur Erzeugung der erforderlichen Flachsstängelqualität wurde zu Projektbeginn auf das klassische Flachsernteverfahren (Raufen-2x Wenden-Pressen) mit dem Ziel gesetzt, ohne zeitaufwendiger Röste das Material lagertrocken zu bergen.

Für die Durchführung der Feldversuche wurde im Raum Chemnitz eine Versuchsanbaufläche von ca. 2 ha für den Flachs-anbau zur Verfügung gestellt.

Nach einer erfolgreichen Umsetzung der Anbau- und Ernteversuche wurde das landwirtschaftliche Material den aufgebauten Aufbereitungsanlagen zugeführt. Bei den ersten Verarbeitungsversuchen auf der Laboranlage zum Einkürzen der Grünflachstängel hat sich gezeigt, dass die dabei anfallenden Wurzeln zu Verarbeitungsproblemen führten.

Für die weiterführenden Untersuchungen wurde die Schaffung einer wurzelfreien Rohstoffvorlage mit paralleler Stängellage im Flachsballen als Ziel gesetzt. Da die Grundlagen für den landwirtschaftlichen Anbau von Faserflachs bekannt sind und sich die neue Zielrichtung technologisch wenig von der klassischen Anbaumethode für Textilflachs unterscheidet, wurde die Versuchsplanung vorrangig auf erntetechnische und erntetechnologische Fragen fokussiert.

Dabei standen folgende Schwerpunkte im Vordergrund:

- Erzeugung von ungeröstetem Flachsstroh
- Ernte des Strohes ohne Wurzeln
- Einkürzen des Strohes zur Herstellung von Stängelabschnitten mittels landwirtschaftlicher Maschinen bereits während des Ernteprozesses

Durch Modifizierung einer Raufmaschine wurde das Flachsstroh nach dem Erfassen durch die Raufbänder mittels eines Mähbalkens von den Wurzeln getrennt, was sich als technisch möglich erwiesen hat, aber zu Leistungseinbußen bei der Ernte führte.

Durch den zusätzlichen technologischen Schritt wurde die Flächenleistung negativ beeinflusst. Dennoch konnten unter der Maßgabe, dass sich die Wurzeln negativ auf das Kfz-Bauteil auswirken, zweifellos positive Effekte durch den neuen Ansatz erzielt werden.

Weiterhin wirkt die im Gegensatz zum Raufen entstehende Stoppel positiv auf das Trocknungsverhalten des Strohes während der Feldliegezeit. Die parallel abgelegten Stängel

befinden sich in der Regel auf der Stoppel in einem Abstand von ca. 8 bis 10 cm über dem Boden, so dass eine gleichzeitige Abtrocknung von oben und von unten erfolgen kann und dadurch auf den Verfahrensschritt Wenden verzichtet werden kann.

Das derartig geerntete und lagertrockene Flachsstroh wurde mit der vorhandenen Flachsstrohpresse problemlos auf traditionelle Weise zu Rundballen gepresst und anschließend eingelagert. Somit konnte die Umsetzbarkeit des modifizierten Ernteverfahrens nachgewiesen und die angestrebte Rohstoffvorlage bestätigt werden.



**Abbildung 8: Wurzelfreie Flachsrundballen**

Mit dem Ziel der weiteren Kostenreduzierung wurde weiterhin versucht, standgetrocknetes Flachsstroh mittels landwirtschaftlicher Standard-Feldhäcksler zu mähen und gleichzeitig einzukürzen. Hier wurde die prinzipielle Machbarkeit nachgewiesen, allerdings führt die hohe Umfangsgeschwindigkeit der Häckseltrommel zu einer starken ungewollten Entholzung des Materials.

An diesem Ansatz soll mit dem Ziel festgehalten werden, das standgetrocknete Flachsstroh in einem Arbeitsschritt zu mähen, einzukürzen und vom Feld zu bergen. Technologische und maschinentechnische Untersuchungen sind hierzu jedoch erforderlich.

### ***Verfügbarkeit des Rohstoffs. Strategische Gesichtspunkte***

Bezüglich der Rohstoffbereitstellung spielen neben technologischen und wirtschaftlichen Fragen auch strategische Gesichtspunkte eine nicht zu unterschätzende Rolle.

Im Gegensatz zu den meisten Rohstoffen ist der Preis für technisch zu nutzende Naturfasern in den letzten Jahren relativ konstant geblieben. Hier zeichnen sich zumindest beim Flachs aus den wichtigsten Anbaugebieten in den vergangenen Monaten Veränderungen ab.

Flachskurzfasern sind Nebenprodukte der höherwertigen Flachslangfasern und damit mengenmäßig, teilweise auch preislich von diesen abhängig. In den letzten Jahren ist der überwiegende Teil der Langfaserspinnereikapazitäten nach Asien, vorrangig China, verlagert worden. Damit wird Flachslangfaser zum Exportgut und bewegt sich in neuen Abhängigkeiten, die sich z. B. durch eingeschränkte Verfügbarkeit auch auf europäische Kurzfaserkunden auswirken können.

Osteuropa als Rohstofflieferant bleibt auch weiterhin ein unzuverlässiger Partner. Durch den verregneten August 2006 ist ein Großteil der Ernte vernichtet worden. Geringe Rentabilität der Produktion führt dazu, dass in Russland in 2007 zwei Drittel der Unternehmen die Faserproduktion einstellen wollen.

Es sind Bestrebungen in Weißrussland, einem der größten europäischen Flachsanbauländer, bekannt, nachdem chinesische Investoren die sechs derzeit staatlich kontrollierten Leinen-Exportfirmen kaufen und damit die Kontrolle über den Flachsfaserrohstoff erzielen wollen.

Diese Entwicklungen könnten neben den tropischen Fasern auch dem Hanf zugute kommen. Aber auch die hiesige Hanfproduktion ist an Zweitprodukte gekoppelt, ohne deren Vermarktung eine Wirtschaftlichkeit nicht erzielt werden kann. Damit muss in Zukunft im Interesse der verstärkten Vermarktung von deutschem Faserhanf das Augenmerk auf die Nebenprodukte Schäben und Samen gelenkt werden.

Neben den stofflich zu nutzenden Rohstoffen werden auch die Energiekosten einen Einfluss auf die Verwendung von Naturfasern haben. Aus einigen veröffentlichten Analysen geht hervor, dass Naturfasern bei der Herstellung von verschiedenen Faserprodukten deutlich höhere Energieeffizienz aufweisen als Konkurrenzprodukte und damit bei weiter steigenden Energiepreisen stärkeres wirtschaftliches Interesse hervorrufen können.

Unter diesen strategischen Gesichtspunkten kann der aus technologischer und wirtschaftlicher Sicht erfolgreiche Abschluss des aktuellen Projektes ein Ausgangspunkt für eine praxisrelevante Umsetzung des neuartigen Verfahrens sein, da

- der „neue“ Flachsrrohstoff Flachsstrohstängel im Gegensatz zu konventionellen Naturfasern eine geringere Transportwürdigkeit aufweist und damit vorrangig im regionalen Anbau erzeugt werden würde
- sich die Energieeffizienz neben den beschriebenen Rohstoffen Polypropylen und Glasfaser durch den Verzicht auf Aufschluss auch gegenüber den herkömmlichen Naturfasern erhöhen würde
- der vollständige Pflanzenstängel im Bauteil verarbeitet wird (ohne Wurzel und Samenkapseln)

### 5.3 Einkürzung der Flachsstängel

Zur Weiterverarbeitung des landwirtschaftlichen Rohstoffs ist die Einkürzung der Halme in Abschnitte definierter Länge sowie deren mechanische Aufbereitung erforderlich.

Das Ziel dieser Maßnahmen besteht in:

- Schaffung eines dosierfähigen Schnittgutes für die nachfolgende mechanische Aufbereitung sowie Halbzeugherstellung
- Aufbrechen der natürlichen Wachsschicht, welche die Haftung der Stängelabschnitte mit dem Matrixharz behindert
- Vergrößerung der für die Verklebung zur Verfügung stehenden Oberfläche durch das Aufspalten der rohrförmigen Stängelabschnitte.

Notwendige Arbeitsschritte zur Vorbereitung des Rohstoffs für die nachfolgende Halbzeugherstellung sind das Abtrennen der Wurzelabschnitte und das Entfernen der Samenkapseln, Einkürzen der Flachsstängel auf eine definierte Länge und Aufspalten der gekürzten Stängel über eine Quetscheinrichtung.

Um die Flachsstängel sauber einzukürzen, wurden diverse Vorversuche durchgeführt: Schneiden mit Hilfe von Quetsch-, Rund- und Schlagmessern sowie nach Guillotinenprinzip mit vorhergehender Ballenauflösung, Einkürzen direkt aus dem Standard-Rundballen mittels eines Ballenfräses (Multischredder) sowie Einkürzung in einer Strohhackselmaschine direkt auf dem Feld.

Die durchgeführten Untersuchungen lieferten wertvolle Erkenntnisse über die prinzipielle Eignung und Effizienz einzelner Methoden, Standzeiten der eingesetzten Schneidwerkzeuge sowie über die wirtschaftlichen Aspekte dieser Aufbereitungsoperation.



**Abbildung 9: Entwurf und Aufbau der (halbautomatischen) Schneideinrichtung**

Die favorisierte Lösung in Abbildung 9 implementiert eine manuelle Zufuhr der Stängel. Zuerst werden die Flachsstängel von den Samenkapseln befreit und die Wurzelbereiche über ein rotierendes Messer abgetrennt. Anschließend werden die Halme dem Scheidsystem



zugeführt und auf die entsprechende Länge zugeschnitten. Für einen sauberen Schnitt werden die Flachs-Stängel von beiden Seiten vorfixiert, so dass die Flachs-Stängel inkl. aller Fasern durchtrennt werden.

Die Schneidanlage besteht aus einem Arbeitstisch, Niederhalter und der Schneideinheit, die wiederum aus einem rotierenden Messer besteht. Die Grünflachsstängel werden in Form eines Bündels dem Schneidwerk zugeführt (Abbildung 10). Bevor das Messer in Eingriff gelangt, erfolgt die Fixierung über einen Niederhalter, der das Bündel Grünflachs auf den Arbeitstisch presst. Somit kann gewährleistet werden, dass das Schneidwerk das Bündel Grünflachs nicht verschiebt. Das Zuschneiden der Stängel auf eine definierte Stapellänge wird durch einen Anschlag realisiert. Die abgeschnittenen Stängel fallen durch eine Öffnung im Arbeitstisch in einen Sammelbehälter, der sich unterhalb des Arbeitstisches befindet.



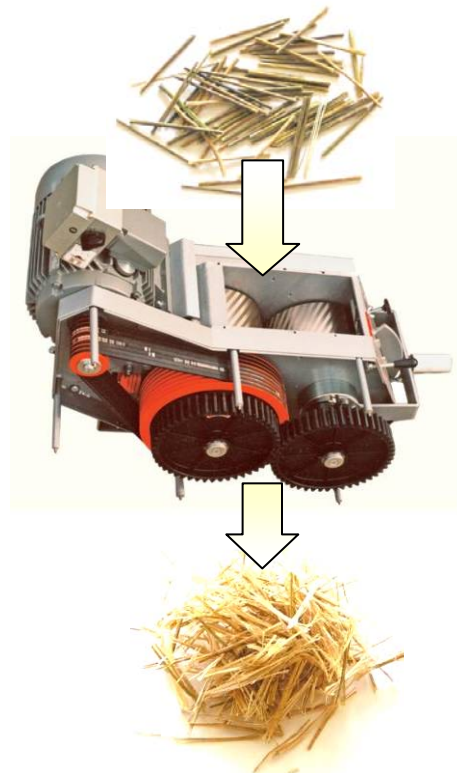
**Abbildung 10: Ausgangsmaterial (links) und eingekürzte Flachsstängel (rechts)**

Mit Hilfe dieser Laborschneideinrichtung konnte eine genügende Materialmenge für weiterführende Untersuchungen produziert werden. Die Herstellung der Stängelabschnitte in Mengen, die eine serielle Umsetzung des Vorhabens erlauben, bedarf der Entwicklung und den Aufbau einer industriellen Schneideinrichtung mit kontinuierlicher Prozessführung. Das Funktionsprinzip der Stängелеinkürzung hat sich als geeignet erwiesen und kann für die Auslegung der Industrieanlage übernommen werden.

## 5.4 Aufbereitung des Rohstoffs

Im Ausgangszustand besitzt die Halmoberfläche eine natürliche Schutzschicht aus Wachs. Diese Wachsschicht beeinträchtigt die Festigkeit der adhäsiven bzw. chemischen Verbindung zwischen den Faserbündeln der Flachspflanze und dem Matrixwerkstoff (Kunstharz). Durch diese Faser-Matrix-Haftung werden die mechanischen Eigenschaften und letztendlich die Zuverlässigkeit des Kfz-Strukturbauteils im Wesentlichen bestimmt. Es ist somit erforderlich, dass das Matrixharz zu den hochfesten Faserbündeln gelangt und eine ausreichend gute Verbindung aufbaut.

Dies kann auf unterschiedlichen Wegen erreicht werden. Im Rahmen des Projekts wurde die mechanische Zerstörung der Wachsschicht favorisiert. Hierbei werden die vorgefertigten Stängelabschnitte in einem speziell ausgelegten Walzwerk mit Differenzgeschwindigkeit so mechanisch aufbereitet, dass nicht nur die Außenfläche eines Stängels, sondern auch die innere Halmfläche zur Realisierung einer zuverlässigen Verbindung mit dem Matrixwerkstoff zur Verfügung steht.



**Abbildung 11: Mechanischer Aufschluss der Flachshalme**

Die Abbildung 11 verdeutlicht die Funktionsweise der realisierten mechanischen Aufbereitungsmethode. Die eingekürzten Flachsstängel werden in den Spalt zwischen zwei asynchron laufenden Walzen gebracht und gequetscht. Die Arbeitsfläche der Walze ist

geriffelt und reißt die Wachsicht auf. Die Differenzgeschwindigkeit sorgt dafür, dass die Stängelabschnitte in Längsrichtung aufgespaltet werden.

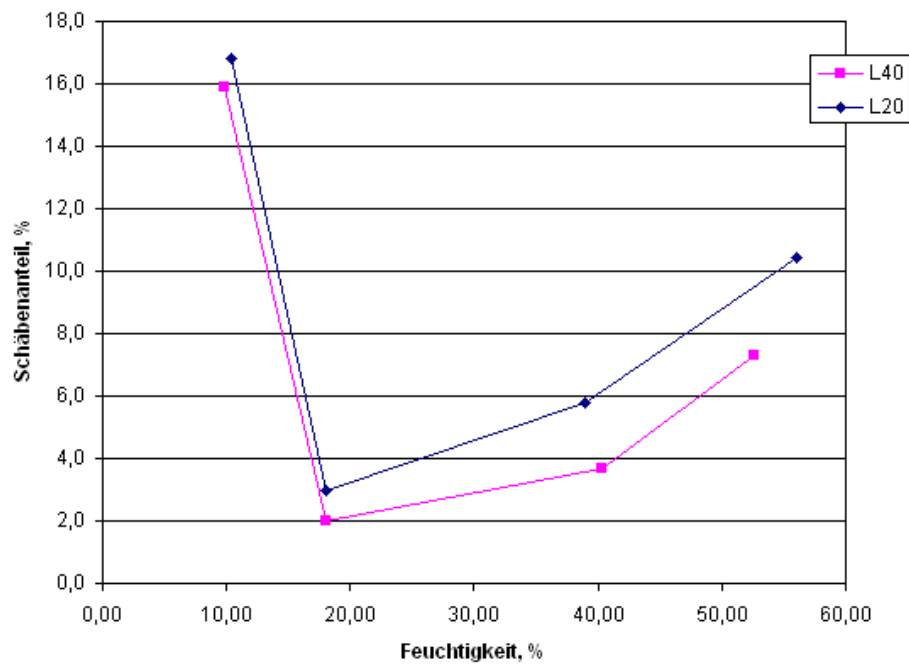
Die Quetschanlage basiert auf einem Walzenstuhl, der sich an die Mühlentechnik anlehnt bzw. orientiert. Der Walzenstuhl wird auf einer Schweißkonstruktion angebracht. Die zugeschnittenen Stängel können von oben durch einen Trichter in den Quetschspalt zugeführt werden. Unter dem Gestell können die gequetschten Stängel entnommen werden. Der Walzenstuhl wird für diese Anwendung so ausgelegt, dass die Stängel geschert und komplett geöffnet werden. In mehreren Versuchsreihen konnten unterschiedliche Übersetzungen ausprobiert werden (z. B. 1:1; 1:1,25; 1:1,5 etc.). Das beste Ergebnis wurde mit Zahnrädern mit einer Übersetzung von 1:1,5 erreicht.



**Abbildung 12: Realisierte Quetscheinrichtung**

Einen signifikanten Einfluss auf die Verarbeitungsqualität sowie einen möglichen Materialverlust durch die Entholzung übt der Feuchtigkeitsgehalt des aufzubereitenden Stängelmaterials aus. Dazu wurden entsprechende Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse die Abbildung 13 darstellt. Aus dem Diagramm geht hervor, dass in Hinblick auf die Quantität der Schäbenablösung das Optimum zwischen 15 und 20% Restfeuchte liegt.

Außerdem wurde hier die Abhängigkeit des unerwünschten Schäbenanfalls von der Stapelfaserlänge der Stängelstücke untersucht. Festgestellt wurde die Tatsache, dass bei den kürzeren Stängelabschnitten der Materialverlust stärker ausgeprägt ist, als bei den längeren.



**Abbildung 13: Einfluss der Restfeuchte auf das Quetschverhalten der Flachsstängel**

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die entwickelte Aufbereitungstechnologie und -technik eine ausreichende und reproduzierbare Aufbereitungsqualität gewährleistet. Das Funktionsprinzip kann unter Vorbehalt einer geeigneten Dosiereinheit zur Beschickung einer industriellen Quetscheinrichtung für eine großtechnische Umsetzung übernommen werden.

## 5.5 Halbzeugherstellung

In Abhängigkeit vom Einsatzbereich im Pkw unterscheiden sich die Anforderungsprofile an den konkreten Strukturbauteilen der Innenraumausstattung. Im Allgemeinen werden Biegesteifigkeit bzw. Elastizitätsmodul, Schlagzähigkeit sowie Flächengewicht als die wichtigsten Bauteilparameter genannt. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind einige Anforderungen an ausgewählten Bauteilen des Innenraums dargestellt:

**Tabelle 1: Anforderungsprofile relevanter Bauteile (Quelle: BMW AG, Polytec Interior GmbH)**

Bauteil	Dichte g/cm <sup>3</sup>	Flächengewicht g/m <sup>2</sup>	E-Modul MPa	sonstige Anforderungen
Türseiten-, Sitzlehnenverkleidung	0,6...0,9 Tendenz↓	< 1800	> 3000	Crash-Verhalten, keine Splitterbildung
Kofferraumboden	0,8...1,2 Tendenz↓	< 6000	> 4000	gute Kriechbeständigkeit bis ca. +60 °C
Ablegeboden (Hutablage)	0,5...0,8	< 800	Verbund ca. 3000	Sandwich-Aufbau
Dachhimmel	0,4...0,6	< 800	Verbund ca. 2500	Sandwich-Aufbau

Die Bauteilträger werden im kaschierten Zustand in Pkws verbaut. Die Kaschierung erfolgt entweder im One-Step-Verfahren (Thermoplasttechnologie) oder einem mehrstufigen Prozess (Duroplasttechnologie). Hieraus resultieren die Anforderungen an die Luftdurchlässigkeit der Trägerteile, Oberflächenqualität, Klimabeständigkeit der Klebeschicht sowie Affinität zu bestimmten Klebstoffen. Außerdem gehören die Formbeständigkeit, Dickenquellung, Wasseraufnahme und Emissionsfreiheit in das Lastenheft eines montagefertigen Kfz-Bauteils. Für diese Parameter gelten in der Regel betriebsinterne Prüfvorschriften, die der Öffentlichkeit nicht zugänglich sind.

Der Entstehungsweg für derartige Bauteile beinhaltet mehrere Prozessstufen von der Bereitstellung des landwirtschaftlichen Rohstoffs über die Halbzeugherstellung bis zum fertig konsolidierten und geformten Endprodukt. Das Halbzeug spielt hierbei die Rolle einer Schnittstelle zwischen der Landwirtschaft und der High-Tech-Produktion der Automobilindustrie. Somit gehen die an das Halbzeug gestellten Anforderungen über die Grenzen der eigentlichen Halbzeugfertigung hinaus.

Hinsichtlich der Qualität werden an die industriellen Naturfaservliesstoffe zahlreiche und vielfältige Anforderungen gestellt, wie Flächengewicht und dessen Konstanz, Lagerfähigkeit, Feuchtigkeitsaufnahme, Faserart, Mischqualität, Reißfestigkeit, Vernadelungsdichte, Umformgrad, Homogenität, Fremdkörperfreiheit und nicht zuletzt die Wirtschaftlichkeit. Diese Gesichtspunkte müssen bei der Entwicklung der neuartigen Halbzeuge berücksichtigt werden.

Die an den landwirtschaftlichen Rohstoff gestellten Anforderungen für die nachfolgende Halbzeugfertigung sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.

**Tabelle 2: Anforderungen an das Stängelmaterial für die Halbzeugherstellung**

<b>Anforderung</b>	<b>Auswirkung im Halbzeug/Bauteil</b>	<b>Maßnahmen</b>
<b>Bereitstellung &amp; Aufbereitung</b>		
Fremdkörperfreiheit, keine Verunreinigungen	Agglomerieren des Füllstoffs im Halbzeug/ Fehlstellen im Bauteil	Befreien von Samen, Blätter, Steinen/ Metalldetektor
Gute Bindung zwischen Faserbündeln und Holzbeständen im Material	Verringerung der Materialverluste/ Verbesserung mechanischer Bauteileigenschaften	Ungeröstete Naturfasermaterialien, Sortenselektierung
Lagerfähigkeit/ Feuchtegehalt unter 10%	Unterbindung der Abbauprozessen/ unerwünschtes Schäumen des Matrixharzes	Feldtrocknung, industrielle Trocknung/ konditionierte Lagerräume
Schimmelfreier Rohstoff	Langlebigkeit, Gewährleistung langfristiger Produktqualität	Feuchtigkeitsgehalt unter 10%, trockene Lagerräume
Langfristig gleichbleibende Rohstoffqualität	Ungleichmäßigkeiten in der Matte/ Eigenschaftsschwankungen im Bauteil	Homogenisierung durch Mischen verschiedener Rohstoffpartien
Definierte Abschnittslänge der Pflanzenteile. Schwankungen $\pm 10\%$ tolerierbar	direkter Einfluss auf Verarbeitbarkeit im Streuprozess, direkter Einfluss auf die mechanischen Werkstoffkennwerte im Bauteil	Optimierte Schneidverfahren, Einkürzen direkt auf dem Feld, geeignete Materialvorlage, präzise Prozessführung
Gut entwickelte wachsfreie Oberfläche, hohe und konstante Quetschrate	Anbindung in das Matrixharz, Halbzeugimprägnierung, Matrixharzverteilung im Bauteil	optimierte Aufbereitungsmethoden, mehrstufige Prozessgestaltung
Agglomeratfreie Schnittgutvorlage	Ungleichmäßigkeiten in der Matte/ Eigenschaftsschwankungen im Bauteil	Materialauflockerung, entsprechende Reinigung des Rohstoffs

Da die aufbereiteten Stängelstücke keinen Zusammenhalt aufweisen, der ein erforderliches Handling ermöglichen kann, müssen diese zu einem flächigen Halbzeug verfestigt werden. Dazu muss das aufbereitete Material zu einer gleichmäßigen Schicht gelegt und anschließend fixiert werden.

Die Fixierung des Halbzeugs kann n h- oder klebetechnisch erfolgen. Bei der klebetechnischen Verfestigung werden die Klebstoffpartikeln und -bestandteile in die Verbundstruktur eingebracht, die normalerweise (für serienmässig eingesetzte kostengünstige Klebstoffe) keine Affinität zu duromeren Matrixharzen aufweisen und somit die Bauteileigenschaften beeinträchtigen. Außerdem verlieren bei wachsendem Flächengewicht die klebefixierten Halbzeuge schnell ihre wirtschaftliche Attraktivität, da die ganze Schicht verklebt werden soll. Im Gegensatz dazu bieten die n htechnisch fixierten Halbzeuge mehr Gestaltungsfreiheit bei nahezu kostenneutraler Herstellung. Anhand der durchgeführten Untersuchungen dieser Verfestigungsm glichkeiten wurde die n htechnische Variante favorisiert.

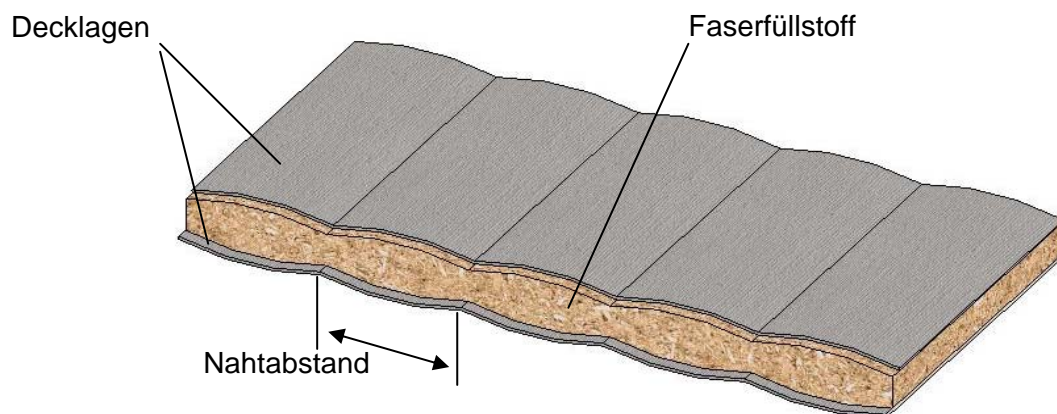
Die Tabelle 3 stellt die Anforderungen an das flächige Halbzeug dar.

**Tabelle 3: Anforderungen an das entwickelte Stängel-Halbzeug**

<b>Anforderung</b>	<b>Auswirkung im Halbzeug/Bauteil</b>	<b>Maßnahmen</b>
<b><i>Halbzeugherstellung &amp; Konfektionierung</i></b>		
Flächengewicht. Abweichung von $\pm 5\%$ tolerierbar.	Bildung von Fehlstellen, Streuung der Werkstoffkennwerte, Qualitätssicherung	gut funktionierendes Dosierkonzept, konstante Qualität des Ausgangsmaterials
Gleichmässigkeit der gestreuten Faserschicht	Fehlerfreie Bauteile, homogene Eigenschaften, Oberflächenqualität	gut funktionierendes Dosierkonzept, konstante Qualität des Ausgangsmaterials
Nähtechnische Fixierung der Matte	Komprimierte Bereiche, bessere Wirtschaftlichkeit als bei Klebefixierung	möglichst lockere Gestaltung der Nähte, Einsatz von flexiblen Fäden
Nahtabstand entsprechend der Stapelfaserl�nge	Verrutschen des Füllstoffs im Halbzeug, Halbzeughandling, erheblicher Kostenfaktor	Nahtabstand im Hinblick auf zuverlässige Fixierung des Füllstoffs festlegen
Transport- und Handhabungsf�higkeit	Einfluss auf die Sauberkeit der Produktionsprozesse, reduzierter Verpackungsaufwand	Einsatz von Abdecklagen, Verfestigung des Halbzeugs, Einfassen der Halbzeugr�nder
Abdecklagen aus mit einem Matrixharz kompatiblen Material	Einfluss auf Imprägnierung und Umformverhalten, Fehlstellen durch die Perforation beim Vernähen Eignung zur Kaschierung	Mit duromeren Harzen kompatible, besonders dünne und durchlässige Materialien ausreichender Reißfestigkeit einsetzen
Vern�hungsdichte (Stichweite)	Bildung von Fehlstellen durch Komprimierung und Einstiche, erheblicher Einfluss auf Produktivität und Oberflächengüte	korrekte Anlageneinstellungen, Verfahrensvariation



Für die Weiterverarbeitung zu Bauteilen kann das Halbzeug als Rolle bzw. als vorkonfektionierter Zuschnitt vorliegen. Den prinzipiellen Aufbau des entwickelten Halbzeugs auf Basis von nicht entholzten Teilen der Flachspflanze verdeutlicht die Abbildung 14. Auf der Ober- und Unterseite der Halbzeugmatte ist ein dünnes Kunst- bzw. Naturfaservlies oder Gewebe angebracht. Zwischen diesen Abdeckschichten befindet sich das eigentliche Verstärkungsmaterial, das in Form von einer definierten Streuschicht der Stängelstücke vorliegt. Diese Schichtkonstruktion wird in der Längsrichtung vernäht und somit fixiert. Der Einsatz von Abdeckvliesen ist durch die Forderung an die Rieselfreiheit beim Transport und in der Weiterverarbeitung begründet.



**Abbildung 14: Aufbau des entwickelten Flachsstängel-Halbzeugs**

Zur Legung einer gleichmäßigen Schicht des Stängelmaterials wurde eine Streueinrichtung entwickelt und aufgebaut (Abbildung 15). Diese besteht aus einem Silo-Band, Silo-Rechen, Dosierwalzen, einer Abräumeinheit, einer Nivellierplatte und einem Austragungsband. Das Stängelmateriale wird auf eine Unterlage aus einem leichten Vliesstoff abgelegt und über die Abräumeinheit und Nivellierplatte zur Verfestigungsstelle befördert.



**Abbildung 15: Ansicht der entwickelten Streueinrichtung**



Zur Halbzeugfixierung wird eine Nähwirkmaschine verwendet. Unmittelbar vor dem Vernähen wird eine zweite Vliesstofflage zugeführt, die die gebildete Schicht abdeckt. Die Decklagen werden unter Berücksichtigung von wirtschaftlichen und funktionellen Rahmenbedingungen ausgewählt. Die ersten Versuchsreihen wurden mit Jutegewebe durchgeführt. In den weiteren Optimierungsschleifen kamen u. a. leichte Vliese mit ca. 25 g/m<sup>2</sup> zum Einsatz. Das Stängelmaterial wird zu einem Vlies mit einem Flächengewicht von ca. 1.000 g/m<sup>2</sup> zwischen die Decklagen gelegt und anschließend über parallel angeordnete Nadeln miteinander vernäht (Abbildung 16). Der Nahtabstand hat dabei einen erheblichen Kosteneinfluss, muss aber aufgrund einer möglichst homogen bleibenden Materialverteilung so klein wie nötig gewählt werden.



**Abbildung 16: Nähtechnische Fixierung des Halbzeugs**

Die derartig hergestellten Halbzeuge sind in Abbildung 17 dargestellt. Diese sind als Halbzeugrolle bzw. -zuschnitt mit und ohne Randeinfassung ausgeführt worden.



**Abbildung 17: Entwickelte und erprobte Halbzeugvarianten**

Die durchgeführten Untersuchungen lassen eine industrielle Umsetzbarkeit des Verfahrens sowie Funktionalität des entwickelten Stängel-Halbzeugs nachweisen.

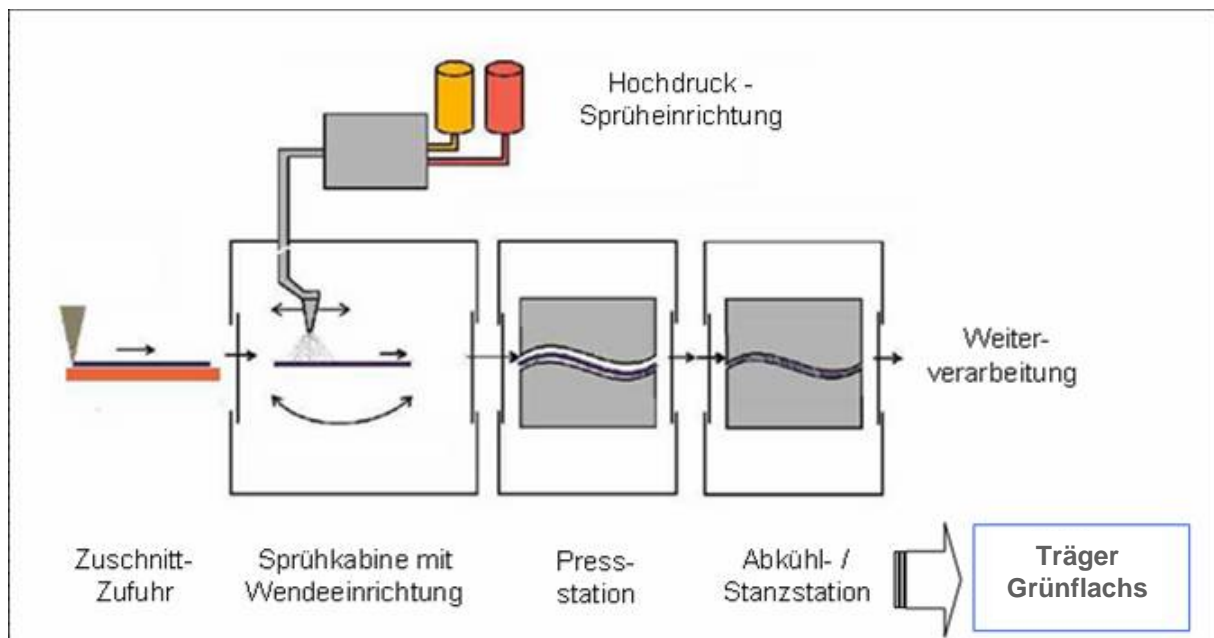
## 5.6 Harzauftrag

Um das in 5.5 hergestellte Halbzeug zu einem Bauteil zu verarbeiten, muss ein Matrix-Werkstoff appliziert werden. In mehreren Versuchsreihen sind die folgenden Matrix-Werkstoffe untersucht worden:

- Epoxydharze (EP-Harze)
- Polyurethane (PUR-Harze)
- Acrylat-Harze

Diese Harzsysteme werden mittels Rakel-, Walz- und Sprühverfahren aufgetragen. Als Favorit kristallisierte sich allerdings das Sprühverfahren heraus. Die Vorteile dieses Verfahrens sind ein partieller Auftrag, hohe Gleichmäßigkeit und breite Variation bei der Auftragsmenge (100 - 1.000 g/m<sup>2</sup>).

Die Abbildung 18 verdeutlicht die realisierte Vorgehensweise bei der Verarbeitung des Grünflachs-Halbzeugs zu einem automobilen Fertigteile. Der Einsatz von schnell härtenden Zweikomponenten-Harzsystemen auf EP- bzw. PUR-Basis im Heißpressverfahren erlaubt sehr kurze Zykluszeiten. Im Laufe der Untersuchungen wurde aufgrund der breiten Einstellungsmöglichkeiten das 2K-PUR-System von E170-36-3-21-4 Elastoflex 3592/100 A und E170-36-3 Iso 118/4 B als geeignetes Matrixsystem ausgewählt.



**Abbildung 18: Verfahrensschema für die Verarbeitung des Halbzeugs zum Bauteil**

Die Beharzanlage (Abbildung 19) besteht aus einer Sprühanlage, deren Sprühkopf über ein 2-Achs-System gesteuert wird und einer Dosiereinrichtung für ein 2-Komponenten-Polyurethan. Der Harzauftrag kann dabei über die Durchfluss-Menge und die Bahngeschwindigkeit variiert werden. Das Halbzeug wird dabei in einem Spannrahmen fixiert, in

die Anlage hineingefahren, von beiden Seiten imprägniert und anschließend wieder automatisch aus der Anlage herausgefahren. Die Sprühbilder können über CNC-Programme erstellt und gespeichert werden. Dadurch kann eine sehr hohe Reproduzierbarkeit gewährleistet werden.



**Abbildung 19: Beharzungsanlage in Arbeit. CNC-gesteuerter Sprühauftrag**

Für die Bauteilherstellung wurden fertige Halbzeugzuschnitte mit eingefassten Rändern verwendet. Alle Halbzeuge wurden zunächst in einem Temperierofen eine definierte Zeit vorgetrocknet (siehe Abbildung 20) und danach wieder an der Luft abgekühlt, um ein beschleunigtes Aushärten des Harzsystems nach dem Auftragen zu verhindern.



**Abbildung 20: Halbzeugzuschnitte. Vortrocknung vor dem Harzauftrag**

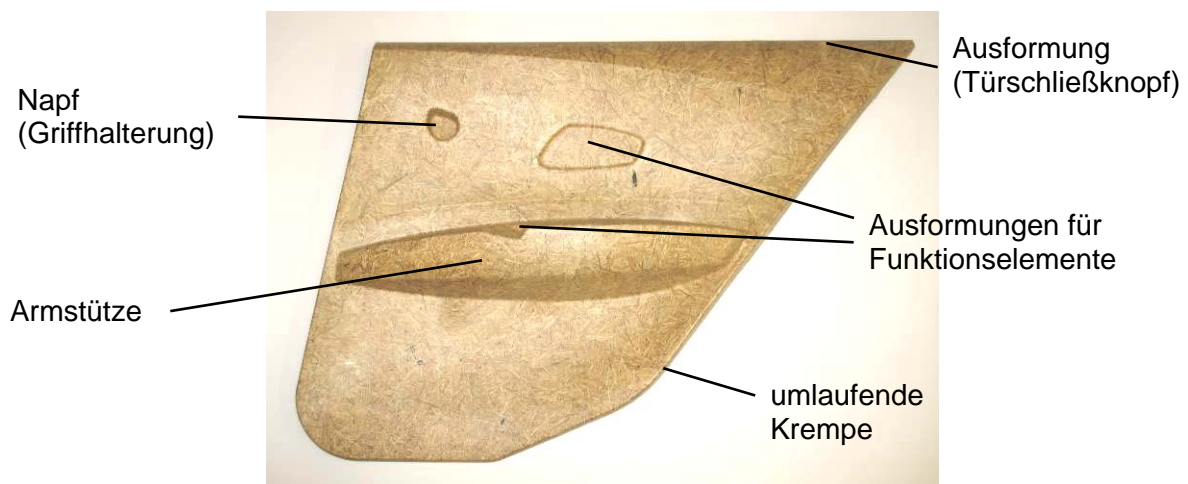
Die Forderung nach einer Vortrocknung resultiert aus einem ausgeprägt hygroskopischen Verhalten des Naturfasermaterials, wodurch bei der Lagerung die Luftfeuchtigkeit im Halbzeug gespeichert wird und später zu einem unerwünschten Schäumen des PUR-Matrixsystems führen kann. Das somit vorbereitete und imprägnierte Halbzeug steht für die Weiterverarbeitung im Pressverfahren zur Verfügung.



## 5.7 Verpressen zum Fertigteil

Das Verpressen wurde unter Variation von Pressdruck, Werkzeugtemperatur und Presszeit in einer 400t-Hydraulikpresse durchgeführt. Die Zykluszeiten betragen ca. 60...120 s und entsprachen somit der in der Serie geforderter Produktivität.

Als Referenzteil wurde die Türseitenverkleidung vom 1er BMW gewählt. Die geometrischen Besonderheiten dieser Türverkleidung verdeutlicht die Abbildung 21. Hier sind Bereiche unterschiedlicher Komplexität zu erkennen: Napf (Griffhalterung), Armstütze mit dem größten Umformgrad, Ausformungen für Funktionselemente und Türschlie ßknopf, umlaufende Krempe mit den kleinsten Biegeradien.



**Abbildung 21: Referenzbauteil - Türseitenverkleidung 1er BMW**

Beim Verpressen haben sich Unterschiede bei den im Halbzeug verwendeten Abdeckstoffen bemerkbar gemacht. Diese üben einen wesentlichen Einfluss auf die Oberflächengüte, Harzverteilung im Bauteil sowie auf das Tiefziehvermögen der Halbzeugmatte und die nachfolgende Kaschierung. Das Anforderungsspektrum an die einzusetzenden Stoffe hinsichtlich der Werkzeuggtrennung und dem Umformverhalten konnte konkretisiert werden.

Es konnte nachgewiesen werden, dass zur Umformung der entwickelten Halbzeugmatten bestehende Anlagentechnik sowie Serienwerkzeuge eingesetzt werden können. Die konkreten Prozessparameter müssen jeweils in Abhängigkeit vom Halbzeugtyp ermittelt werden.

Bei der Herstellung von Türseitenverkleidungen im Laborma ßstab wurden die mit dem Matrixharz imprägnierten Halbzeuge manuell zur Umformpresse transportiert und in das Umformwerkzeug eingelegt (Abbildung 22). Mit dem Schließen des Werkzeugs wurde die Halbzeugmatte zu ihrer endgültigen Geometrie verformt und vollständig konsolidiert. Das entstandene Fertigteil ließ sich problemlos aus dem Formwerkzeug entnehmen. Der

Randbeschnitt erfolgte direkt im Umformprozess mit Hilfe einer integrierten Stanzkante. Die Abbildung 23 repräsentiert einen fertig gepressten Bauteilträger nach dem Entformen.



**Abbildung 22: Imprägniertes Halbzeug vor dem Pressen**



**Abbildung 23: Bauteil nach dem Entformen**

Das weitere Forschungsziel bestand in der Reduzierung des Harzanteils im neuartigen Bauteil. Angefangen mit über 50%-Gew. ist es im Laufe der Optimierung des Halbzeugs und der Prozessführung gelungen, den Harzanteil bis auf 37 Gew-% zu senken. Die relevanten Bauteileigenschaften sind dabei verbessert worden.

Die weiterführenden Arbeiten konzentrierten sich auf Validierung der Bauteileigenschaften, Ermittlung der Werkstoffkennwerte und Durchführung der Kaschiersversuche.

## 5.8 Bauteilmuster

Die ersten Versuchsreihen wurden mit Hilfe von Planplatten-Werkzeugen durchgeführt, um Zykluszeiten, Durchtränkung, Entformbarkeit, Harz-Menge/-Anteil darzustellen. Das Eigenschaftsprofil und die Eignung für ein Bauteil wurden anhand von mechanischen Eigenschaften und des Bruchbildes beurteilt. Das Bruchbild zeigt im Idealfall in Matrix eingebettete Stängel. Allerdings ist aufgrund der Wirtschaftlichkeit eines derartigen Bauteils der Matrix-Anteil möglichst gering und bei ca. 35% zu halten.



**Abbildung 24: Planplatte mit Vlies-Decklage**

Mit den Erkenntnissen aus den Planplattenversuchen wurde nun ein Türverkleidungsträger gepresst. Der Matrixanteil wird mit 35% bewusst als Entwicklungsziel gewählt. Die Decklagen sind Jutegewebe bzw. leichte Kunstfaservliese. Wie in Abbildung 25 ersichtlich, lässt sich prinzipiell ein Bauteil formen.

Es wurden mehrere Versuchsreihen durchgeführt, in denen das entwickelte Halbzeug hinsichtlich Umformvermögen, Verträglichkeit mit dem Matrixharz, erzielbarer mechanischer Kennwerte und Oberflächenqualität untersucht wurde. Hier wurden zahlreiche Bauteilträger verschiedener Ausführung hergestellt und anschließend kaschiert. Nachdem wurden die kaschierten Bauteile in einem Standard-Klimatest auf Maßhaltigkeit, Dickenquellung und Beständigkeit der Verbindung zwischen dem Rohträger und Kaschiermaterial geprüft. Daraus resultierte die Präzisierung der Anforderungen an die im Halbzeug eingesetzten Abdeckstoffe, wodurch einige Varianten aus dem Forschungsprogramm komplett ausgeschlossen werden konnten. Die gewonnenen Erkenntnisse weisen auf eine gute bis sehr gute Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung von Feuchte und Wärme hin.

Anhand der hergestellten Testplatten sowie TV-Bauteilträger wurden die relevanten mechanischen Werkstoffkennwerte zusammengestellt. Die Ergebnisse der labortechnischen Untersuchungen sind in der Tabelle 4 zusammengefasst. Hier ist ersichtlich, dass die für die Türseitenverkleidungen geforderte Grenze an Biegemodul erreicht bzw. übererfüllt werden konnte. Die weiteren mechanischen Parameter weisen ein ausreichend gutes Niveau auf, wobei die ermittelte Schlagzähigkeit mit über 20 kJ/m<sup>2</sup> den herkömmlichen Naturfaserwerkstoffen mit der duromeren Matrix überlegen ist.

**Tabelle 4: Kennwert-Profil in Anlehnung an gängige Spezifikationen, wie z. B. die BMW TL 8, 7 036 567.6 Ausf. 03 (Auszug aus entsprechenden Sollwerten in Klammern)**

Technische Beschreibung	Norm	Ergebnisse
Dicke	DIN EN ISO 123/3	1,87 mm
Dichte	DIN 52 350	0,87 g/cm <sup>3</sup>
Flächengewicht	DIN 52 350	1639 g/m <sup>2</sup>
Trockenmasse(105°C)		96,7 %
Biegemodul	DIN EN ISO 14125	3000...5000 N/mm <sup>2</sup>
Biegefestigkeit	DIN EN ISO 14125	40...70 N/mm <sup>2</sup>
Zugfestigkeit	DIN EN ISO 527 / 4	x-Richtung 20 N/mm <sup>2</sup> z-Richtung 10 N/mm <sup>2</sup>
Bruchdehnung	DIN EN ISO 527 / 4	x-Richtung 0,84 % z-Richtung 0,74 %
Schlagzähigkeit	DIN EN ISO 179	x-Richtung 21,7 kJ/m <sup>2</sup> z-Richtung 20,0 kJ/m <sup>2</sup> (> 12 kJ/m <sup>2</sup> )
Fogging-Reflektometerwert F	DIN 75201-A	89,1 %
Fogging-Kondensatwert G	DIN 75201-B	0,455 mg (< 1,0 mg)
Gesamt C Emission	VDA 277	36,8 µg/g (< 50 µg/g)
ATD-GC-MS-Screening 90°C/ 120°C VOC-Wert VOC-Zweitwert FOG-Wert	VDA 278	29,0 µg/g (< 100 µg/g) 24,9 µg/g (< 100 µg/g) 178 µg/g (< 250 µg/g)
Wasseraufnahme Dickenquellung	DIN 52351	27 % (< 40 %) 17 % (< 25 %)
Brennprüfung	DIN 75 200	<b>B = 0</b> , Selbsterlöschend, die Zündflamme verlöscht vor Erreichen der ersten Messmarke.

Um das Eigenschaftsprofil vollständig beschreiben zu können, wurden werkstoffspezifische Prüfungen initiiert. Die neuartigen Bauteile wurden hierbei auf Emissionsverhalten, Crashperformance (Schlagzähigkeit) und Brennbarkeit untersucht. Es wurde festgestellt, dass der neue Werkstoff die einzelnen Qualitätskriterien bezüglich Geruchsentwicklung und Fogging-Eigenschaften erfüllt. Interessant ist auch das Ergebnis der Brennprüfung (Tabelle

4). Obwohl bei der Herstellung keine flammhemmenden Mittel zusätzlich in die Struktur eingebracht wurden, weisen die getesteten Bauteile selbstverlöschende Eigenschaften auf, so dass die Zündflamme noch vor Erreichen der ersten Messmarke verlöscht.

Auf Basis der hergestellten TV-Rohträger wurde ein kompletter Prototyp mit den in der Serie eingesetzten Anbauteilen aufgebaut und mit der Serienverkleidung 1er BMW verglichen. Die aktuelle Serientürverkleidung ist mit der Angabe des Gesamtgewichts auf der Abbildung 26 dargestellt. Den neuartigen Prototyp der gleichen Türverkleidung zeigt uns die Abbildung 27. Wie der Darstellung zu entnehmen ist, beträgt hier die durch das neue Werkstoffkonzept erzielte Gewichtsreduzierung ca. 22 %.

Die Umsetzbarkeit des Vorhabens lies sich im Prototypstadium eindeutig nachweisen. Die Transferierung der Forschungsergebnisse auf die Serienfertigung ist unter Berücksichtigung der oben dargestellten Aspekte möglich.





Abbildung 25: Bauteil-Rohträger (links - Kunstfaser-Abdeckvlies, rechts - Jutegewebe)



Abbildung 26: 1er BMW Serientürverkleidung (ca. 2120 g)



Abbildung 27: 1er BMW Grünflächstürverkleidung (ca. 1650 g)

## 5.9 Zusammenfassung

Die folgenden Ziele bzw. Anlagenkomponenten konnten realisiert werden:

- grundlegendes Konzept zur Bereitstellung des landwirtschaftlichen Rohstoffes
- mechanisierte Schneideinrichtung
- Entwicklung einer industrietauglichen Aufbereitungstechnologie (Quetscheinrichtung für mechanische Aufbereitung der Flachsstängel)
- Entwicklung und anlagentechnische Umsetzung des Lösungsansatzes zur Halbzeugherstellung (Dosiereinrichtung zur Schaffung eines flächigen Halbzeugs)
- Halbzeugherstellung (über vorhandene Nähwirkanlage)
- Verarbeitungstechnologie zur Bauteilherstellung (Sprühaufrag, Pressverfahren)
- Funktionsfähige Bauteile

Muster-Bauteile der zweiten Stufe (Grünflachs 2006 und neue Streuvorrichtung) können umgesetzt und hinsichtlich Verformbarkeit, Gleichmäßigkeit, Steifigkeit, Klimabeständigkeit optimiert werden.

- ⇒ Muster-Bauteile der zweiten Stufe liefern bessere Crash-Performance (30%)
- ⇒ Das Leichtbaupotential gegenüber der konventionellen Hinterpress-Technologie beträgt ca. 22%
- ⇒ Die Kosteneinsparung gegenüber Flexiform-Matten beträgt ca. 12%

Durch diese Darstellung kann in Bezug auf die Aufgabenstellung das gesamte Projektergebnis als positiv eingestuft werden. Die angestrebte Kostenminimierung konnte nur zum Teil nachgewiesen werden, allerdings sind hier noch Potenziale vorhanden, wie dies auf den Schleifen der Rohstoffbereitstellung sowie der Halbzeugherstellung in den Projektergebnissen nachgewiesen werden konnte.

## **6. Verwertung der Projektergebnisse**

Die Verwertung der Projektergebnisse basiert auf der vorgenommenen Patentanmeldung und soll durch die Fa. Polytec Interior GmbH im industriellen Maßstab realisiert werden. Aufgrund des innovativen Technologieansatzes, einem verbesserten Eigenschaftsspektrum und verbesserter Wirtschaftlichkeit des Endproduktes können die Markteinführungschancen als günstig eingeschätzt werden.

Außerdem können die Teilergebnisse des Vorhabens branchenübergreifend genutzt werden, indem die einheimische Landwirtschaft dazu motiviert wird, unter neuen Rahmenbedingungen und Qualitätskriterien den erforderlichen Naturfaserrohstoff anzubauen und in ausreichenden Mengen anzubieten. Eine wirtschaftliche Verwertung der Ergebnisse setzt jedoch eine Weiterentwicklung und Modifizierung der Erntetechnik voraus.

Da die Rohstoffvorlage eine geringe Transportwürdigkeit aufweist, kommt die Herstellung von neuartigen Halbzeugen der deutschen Industrie zugute. Unter Vorbehalt von noch bestehendem Optimierungsbedarf konnten auf Basis der realisierten Verfahrenstechnik und gesammelten Erfahrungen die entsprechenden Kompetenzen und Technologien entwickelt werden. Der grundsätzliche Verfahrensnachweis liegt vor und bildet die Basis zum Aufbau des neuen Herstellungskonzeptes. Eine Übertragung des Technologiekonzeptes auf weitere Faserarten wird für tragfähig eingeschätzt.

## 7. Patentrechtliche Situation

Vor Projektbeginn wurde der Antrag auf Erteilung eines Patentes gestellt. Die Patentschrift wurde vom DPMA unter dem Aktenzeichen DE 10 2004 060 741.9 am 29.06.06 offengelegt. Das exklusive Schutzrecht ist in Kraft.

Während der Durchführung des Vorhabens sind keine Kollisionen bezüglich bestehender Schutzrechte Dritter bekannt geworden. Die regelmäßige projektbegleitende Informationsrecherche lieferte bislang keine Angaben, die den Innovationsgehalt des Vorhabens in Frage stellen könnten. Dazu wurden folgende Informationsquellen und fachliche Online-Datenbanken genutzt:

- Online-Datenbank des Deutschen Patent- und Marken Amtes unter <http://depatisnet.dpma.de>
- Onlinesuche mit Standardsuchmaschinen
- Online-Datenbank FIZ Technik
- Fachzeitschrift „Kunststoffe“
- NOVA-Publikationen
- Portal [www.nachwachsende-rohstoffe.info](http://www.nachwachsende-rohstoffe.info)
- Tagungsberichte von Narotech, NMN-Tagung „Konstruktionswerkstoffe aus nachwachsenden Rohstoffen“ und Chemnitzer Internationale Tagung „Stoffliche Verwertung nachwachsender Rohstoffe“

## 8. Veröffentlichung der Projektergebnisse

Die Ergebnisse des Vorhabens werden in der nächsten Zeit unter Angabe des Fördermittelgebers der Öffentlichkeit präsentiert. Dazu sind verschiedene Veröffentlichungen eingeplant, wie z. B. Beitrag in Fachzeitschrift „Kunststoffe“, Vortrag zur Fachtagung NAROTECH (6.-9. Sept. 2007 in Erfurt) sowie zur 11. Chemnitzer Textiltechnik-Tagung (24.-25. Oktober 2007 in Chemnitz).