

Zwischenbericht

Zuwendungsempfänger:
Institut für Konstruktion
und Verbundbauweisen e.V.

Förderkennzeichen
Projekt - Nr. (PT): 37/02

Vorhabensbezeichnung:

Technologieentwicklung für bauteilnahe Fasergelege

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2002 bis 30.04.2004
Berichtszeitraum: 01.01.2003 bis 31.12.2003

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Michael Puckl

Vorstand KVB: Prof. Dr.-Ing. Bernhard Wielage

Chemnitz, den 29.01.2003

Institut für Konstruktion
und Verbundbauweisen e.V.
Annaberger Str. 240
09125 Chemnitz

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
2	WICKELVERSUCHE ZYLINDERABLAGE.....	2
3	KONZEPTION UND ENTWICKLUNG GABELABLAGE.....	7
3.1	KONZEPTION UND ENTWICKLUNG	7
3.2	FERTIGUNG GABELABLAGE.....	10
4	FIXIERUNG DER WICKELHALBZEUGE	14
5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....	30
6	LITERATURVERZEICHNIS	31
7	ABBILDUNGS- UND TABELLENVERZEICHNIS.....	32
7.1	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	32
7.2	TABELLENVERZEICHNIS	33

1 Einleitung

Die Gruppe der Faserverbundwerkstoffe gewinnt in zunehmendem Maße an Bedeutung. Neben den bekannten High-Tech-Anwendungen der Luft- und Raumfahrt werden sie aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften auch immer häufiger in anderen Branchen wie dem Maschinen-, Fahrzeug-, Schienenfahrzeug- und Apparatebau sowie der Sport- und Freizeitartikelindustrie eingesetzt /1/. Wesentliche Bedingungen für einen noch weiter verbreiteten Einsatz sind eine Reduzierung der Material- und Verarbeitungskosten sowie eine bestmögliche Ausnutzung der erzielbaren Eigenschaften. Hierfür ist es notwendig preiswerte Faserhalbzeuge bereitzustellen, die zugleich optimal an die herzustellenden Bauteile angepasst sind und ein belastungsgerechte Orientierung der Endlosfasern aufweisen. Aus diesem Grund ist das Ziel des Projektes die Entwicklung einer Technologie zur Herstellung von kostengünstigen und zugleich bauteilnahen Faserhalbzeugen. Dies soll unter Nutzung der Faserwickel-Technik in Verbindung mit geeigneten Fixiertechniken erfolgen. Mit dieser Technologie soll eine vorhandene Lücke zwischen den bekannten Grenztechnologien (Technologien zur Herstellung von Endlosware und Sondertechnologien zur Preformherstellung u.ä.) geschlossen werden /2/. Zu Beginn des Projektes wurde der Stand der Technik für die einzelnen, zur Technologie gehörenden, Teilproblemstellungen recherchiert und analysiert. In weiteren Schritten wurden prinzipielle Konzepte für die neue Technologie erarbeitet, sowie mögliche Vorteile und Grenzen dieses Verfahrens dargestellt. Weiterhin wurde eine erste Ablagevariante (Zylinderablage) entwickelt und gefertigt, sowie eine zweite (Gabelablage) konzipiert. Die prinzipielle Eignung der Technologie konnte mit verschiedenen Vorversuchen bereits nachgewiesen werden. Im zweiten Teil des Projektes erfolgt die Konstruktion und Fertigung der zweiten universellen Ablagevariante. Mit den Ablagevarianten werden zur Technologieerprobung Wickelversuche durchgeführt. Es werden weiterhin Möglichkeiten zur Fixierung erarbeitet, entsprechende Hilfsvorrichtungen entwickelt und Fixierversuche durchgeführt.

Aufbauend auf den dabei gewonnenen Erkenntnissen sind im letzten Teil des Projektes geeignete Einzelverfahren zu einer optimalen Gesamttechnologie zu kombinieren. Mit der bzw. den ausgewählten Vorzugsvarianten sind zum Nachweis der Realisierbarkeit entsprechende Halbzeuge herzustellen und zu erproben.

Letztendlich sollen die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse die Basis für eine neue Technologie bilden, die es ermöglicht, angepasste und optimierte Faserhalbzeuge kostengünstig herzustellen.

2 Wickelversuche Zylinderablage

Die im Rahmen des Projektes konzipierte Zylinderablage wurde bereits in /2/ näher vorgestellt. Sie erlaubt derzeit die Herstellung von Faserhalbzeugen mit einer Breite von 50 Zoll und einer Länge von 25, 50 bzw. 75 Zoll. Die Fertigung verschiedener Halbzeuglängen wird durch die Verwendung und die Kombination von Zylindern unterschiedlicher Länge realisiert. Durch den modularen Aufbau lassen sich mit entsprechenden Zylindern weiterer Längen nahezu alle beliebigen Halbzeuglängen herstellen. Begrenzt werden diese letztendlich von den Abmessungen der Wickelmaschine. Die 75 Zoll Variante der Zylinderablage ist in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Zylinderablage; kompletter Wickelkern

Mit der hergestellten Zylinderablage wurde eine Vielzahl von Wickelversuchen durchgeführt. Hierbei wurden in einem ersten Schritt die drei vorhandenen Längen dieser Ablagevariante getestet. Bei diesen Versuchen zeigte sich, wie erwartet, dass die Länge der Zylinderablage keinen Einfluss auf die Ablagequalität hat. Die Verarbeitungsbedingungen sind gleich und die

Ablagelänge hat somit lediglich Einfluss auf die zu verarbeitende Fasermenge und dementsprechend auf die Fertigungsdauer.

In weiteren Versuchen wurden das zu verarbeitende Material (Faserart, Tex-Zahl), der Wickelwinkel, die Anzahl der Bedeckungen und die Rovinganzahl variiert. Da die Länge der Zylinderablage keinen Einfluss auf die Verarbeitungsbedingungen hat, wurden diese Versuche zur Reduzierung der Material- und Fertigungskosten mit der 25 Zoll Ablagevariante durchgeführt.

Die Verarbeitung von Glasfasern ist auf der vorhandenen Zylinderablage als vollkommen unproblematisch zu bewerten. Aufgrund des großen Zylinderdurchmessers treten im eigentlichen Gelegebereich keine Schädigungen auf. Eventuell vorhandene Schädigungen in diesem Bereich können lediglich von zu kleinen Umlenkrollen an der Fadenführung herrühren. Zum Teil treten im Bereich der Nadelkränze geringe Schädigungen auf. Dies ist auf die kleinen Durchmesser der Nadeln zurückzuführen. Allerdings ist dies als unkritisch einzustufen, da dieser Bereich zum Entformen vom eigentlichen Gelege abgetrennt wird.

Die Verarbeitung von Kohlefasern ist ebenfalls auf der konzipierten Zylinderablage möglich. Dieses Material ist jedoch generell wesentlich bruchempfindlicher. Besonders kritisch ist die Verarbeitung von Hochmodulfasern (HM-Fasern). In Analogie zur Glasfaserverarbeitung ist aber auch hier festzustellen, dass Schädigungen im Bereich der Fadenführung bzw. im Bereich der Nadelkränze und nicht im eigentlichen Gelegebereich auftreten. Dementsprechend können auch hier die relevanten Schädigungen durch eine optimierte Fadenführung an der Wickelmaschine vermieden werden.

Durch die Verwendung von Rovings mit verschiedener Filamentanzahl kann Einfluss auf das spätere Flächengewicht des herzustellenden Halbzeuges genommen werden. Mit feinen Rovings lassen sich sehr leichte Wickelgelege herstellen. Allerdings bedingen feine Rovings aufgrund der geringeren Bandbreite eine höhere Anzahl von Schlittenverfahrbewegungen pro Bedeckung und führen somit zu wesentlich höheren Fertigungszeiten.

Eine weitere Möglichkeit das spätere Flächengewicht zu beeinflussen ist in der Vorgabe der Bandbreite im Wickelprogramm zu sehen. Im Normalfall wird das Programm so erstellt, dass Band an Band ohne Abstand und ohne Überdeckung zu liegen kommt. Wird nun das Programm so modifiziert, dass sich die nebeneinander abgelegten Rovings teilweise überdecken, führt dies zu einer Erhöhung des Flächengewichtes des Wickelgeleges.

In Abbildung 2 ist die Bewicklung der 25 Zoll Zylinderablage mit einem Glasfaserroving zum Beginn der Faserablage dargestellt. Der Wickelwinkel beträgt für diese Bedeckung $\pm 70^\circ$.



Abbildung 2: Bewicklung Zylinderablage; Wickelbeginn

Abbildung 3 zeigt die 25 Zoll Zylinderablage mit einer vollständigen Bedeckung.

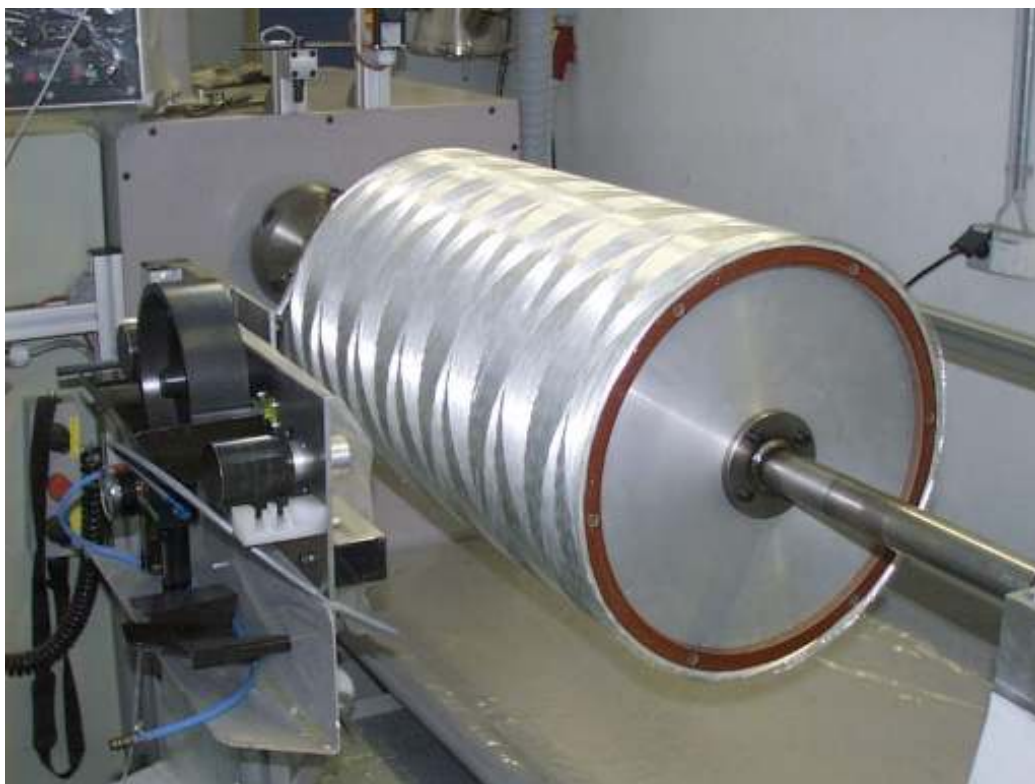


Abbildung 3: Bewicklung Zylinderablage; vollständig bewickelter Kern

Der Wickelwinkel ist theoretisch in den Grenzen von 0-90° beliebig einstellbar. Allerdings würde man bei genauer Einhaltung der Grenzwerte ein Gelege herstellen, welches einem UD-Halbzeug entspräche. Derartige Halbzeuge lassen sich jedoch mit anderen Technologien wesentlich günstiger herstellen. Interessant sind diese Grenzwinkel dementsprechend nur für Wickelgelege, die aus mehreren Bedeckungen aufgebaut werden und für bereichsweise Verstärkungen.

Bei der Technologie zur Herstellung bauteilnaher Fasergelege werden Rovings unter einem bestimmten Wickelwinkel abgelegt, fixiert und entformt. Ein mit $\pm 60^\circ$ gewickeltes Gelege ergibt beispielsweise nach der Entformung ein ebenes Halbzeug mit in Umfangsrichtung betrachtet $\pm 60^\circ$ Faserorientierung und in Längsrichtung betrachtet $\pm 30^\circ$ Faserorientierung. Der in Längsrichtung angegebene Wert ist für jeden beliebigen Wickelwinkel der Ergänzungswinkel zu 90° . Dementsprechend gibt es für ein einschichtiges Wickelgelege (eine Bedeckung) immer zwei Herstellungsvarianten (Beispiel: gewünschtes Halbzeug mit $\pm 60^\circ$ Faserorientierung; Variante 1: Wickelwinkel $\pm 60^\circ \rightarrow$ Betrachtungsrichtung nach Entformung = Umfangsrichtung \rightarrow Halbzeug mit $\pm 60^\circ$ Faserorientierung; Variante 2: Wickelwinkel $\pm 30^\circ \rightarrow$ Betrachtungsrichtung nach Entformung = Längsrichtung \rightarrow Halbzeug mit $\pm 60^\circ$ Faserorientierung).

Falls möglich (abhängig von Länge und Breite des herzustellenden Geleges und den vorhandenen Zylinderablagen) sollte die Variante mit dem größeren Wickelwinkel gewählt werden. Der Grund hierfür ist im resultierenden Polöffnungsdurchmesser zu sehen. Dies ist ein wickeltechnischer Kennwert, der eine Funktion des Zylinderdurchmessers, des Wickelwinkels und der Bandbreite ist (siehe Gleichung). Der Wert ist unabhängig von der Domform des Wickelkerns und beschreibt letztendlich den sich bei der Faserablage ergebenden unbedeckten Bereich an der Stirnseite des Wickelkerns.

$$d_{PO} = d \sin \alpha - W$$

<i>Formelzeichen</i>	<i>Benennung</i>	<i>Einheit</i>
d_{PO}	Polöffnungsdurchmesser	mm
d	Wickelkerndurchmesser	mm
α	Wickelwinkel	°
W	Bandbreite (Breite des auf dem Kern abgelegten Rovings)	mm

Zum Entformen des Geleges wird dies im zylindrischen Bereich, in der Nähe der Nadelkränze, aufgetrennt. Das auf den Stirnseiten der Zylinderablage abgelegte Material ist somit technolo-

gisch bedingt entstehender Abfall. Die Gleichung verdeutlicht, dass große Wickelwinkel zu großen Polöffnungsdurchmessern führen und somit die Materialmenge in der Wendezone deutlich reduzieren. In Abbildung 4 ist die mit $\pm 70^\circ$ Zylinderablage dargestellt. Es ist deutlich zu sehen, dass die Materialmenge auf der Stirnseite (Abfall) sehr gering ist.



Abbildung 4: Bewicklung Zylinderablage; Detail Wendezone

Weiterhin ist bei großen Wickelwinkeln der benötigte Überlaufweg (Schlittenverfahrbewegung der Wickelmaschine) deutlich geringer als bei kleinen Wickelwinkeln. Folglich führt die Herstellung nach der Variante mit dem größeren Wickelwinkel auch zu geringeren Fertigungszeiten.

Eine weitere Möglichkeit die Ablagezeiten (Wickeldauer) deutlich zu reduzieren, ist in der gleichzeitigen Verarbeitung von mehreren Rovings zu sehen. Die im KVB vorhandene Wickelmaschine und das dazugehörige Spulengatter erlauben die gleichzeitige Verarbeitung von bis zu vier Rovings. Für eine serienmäßige Fertigung von Wickelhalbbeugen sind aber auch Spulengatter mit wesentlich mehr Spulstellen einsetzbar.

Mit den durchgeführten Versuchen konnte die Funktionsfähigkeit der konzipierten Zylinderablage nachgewiesen werden. Sie stellt somit ein geeignetes Hilfsmittel für die Technologie zur Herstellung bauteilnaher Fasergelege dar und kann für eine Serien- und Kleinserienfertigung an die entsprechenden Erfordernisse angepasst werden. Für die Einzelteillfertigung ist diese Ablagevariante nur bedingt geeignet, da aufgrund der festen Durchmesser ggf. ein gewisser Verschnitt in Kauf genommen werden muss. Dieser Nachteil soll mit der zu konzipierenden zweiten Ablagevariante beseitigt werden.

3 Konzeption und Entwicklung Gabelablage

3.1 Konzeption und Entwicklung

Das Grundkonzept der zu entwickelnden Gabelablage wurde bereits in /2/ beschrieben und ist nochmals in Abbildung 5 dargestellt. Das Ziel dieser Ablagevariante ist es die Flexibilität noch weiter zu erhöhen und somit eine noch universellere Einsetzbarkeit zu gewährleisten. Neben der Variation der Gelegelänge soll auch eine Variation der Gelegebreite realisierbar sein. Durch eine Art modular aufgebauter Ablage sollen mit geringem Vorrichtungsaufwand Gelege mit beliebigen Breiten und Längen hergestellt werden können und somit der Verschchnittanteil deutlich reduziert werden.

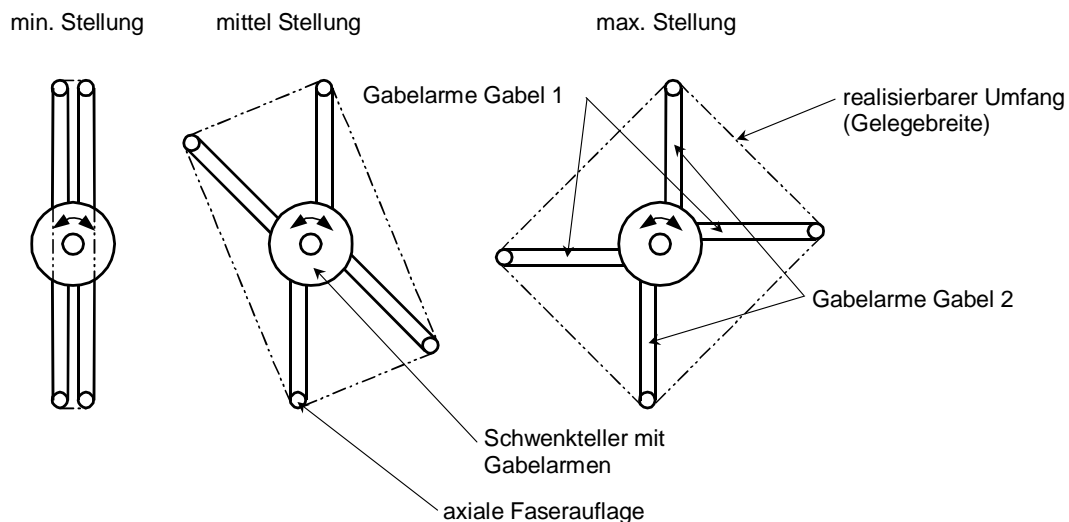


Abbildung 5: Prinzip der konzipierten Gabelablage

Die Gabelablage besteht aus zwei axial angeordneten Gabeln, die um eine gemeinsame Drehachse gegeneinander geschwenkt werden können. Um eine ausreichende Steifigkeit der Anordnung zu gewährleisten, besitzt die Vorrichtung ein entsprechendes Gegenlager, welches ebenfalls schwenkbar ist. Die Fasern werden auf axial verlaufenden Rohren abgelegt. Durch die Variation der Rohrlänge kann die Vorrichtungslänge und somit die herstellbare Halbzeuglänge eingestellt werden.

Die axial verlaufenden Rohrstücke bilden gemeinsam immer ein Rechteck, dessen Umfang der späteren Halbzeugbreite entspricht. Zur Variation der Halbzeugbreite ist somit der Umfang des Rechtecks zu verändern. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten. Zum einen kann der Umfang durch stufenloses Schwenken der Gabel zueinander in gewissen Grenzen variiert werden (siehe Abbildung 5). Zum anderen ist die Vorrichtung so konzipiert, dass Gabelarme

(Vierkanthohlprofile mit Querbohrungen) in verschiedenen Längen eingesetzt bzw. die axial verlaufenden Rohre ohne Gabelarme direkt auf den Schwenkmechanismus aufgesetzt werden können. Die Längen der Gabelarme sind so gewählt, dass durch die Kombination von Schwenken und Austausch der Gabelarme jeder beliebige Umfang (Halbzeugbreite) zwischen zwei Grenzwerten eingestellt werden kann. In der nachfolgenden Tabelle 1 sind die sich aus der Kombination der verschiedenen Gabelarmlängen und der minimalen und maximalen Schwenkwinkel ergebenden Umfänge der Gabelablage aufgelistet.

Tabelle 1: Umfangswerte der Gabelablage

Gabelarmlänge [mm]	Umfang bei minimalem Schwenkwinkel (0°) [mm]	Umfang bei maximalem Schwenkwinkel (90°) [mm]
ohne Gabelarme	ca. 660	ca. 760
100	ca. 1100	ca. 1385
155	ca. 1320	ca. 1700
225	ca. 1600	ca. 2090
335	ca. 2035	ca. 2710

Abbildung 6 zeigt das CAD-Modell der Gabelablage mit maximalem Umfang (maximale Gabelarmlänge; Schwenkwinkel 90°).

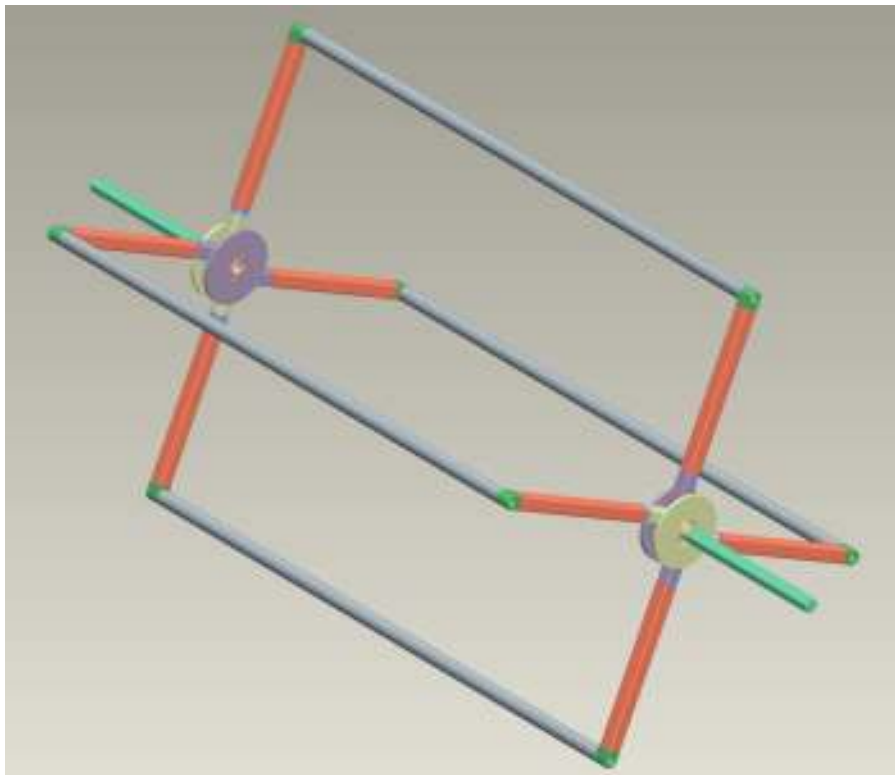


Abbildung 6: Gabelablage mit maximalem Umfang

In Abbildung 7 ist das CAD-Modell der Gabelablage mit gleicher Gabelarmlänge, jedoch mit zusammen geschwenkten Gabelarmen dargestellt.

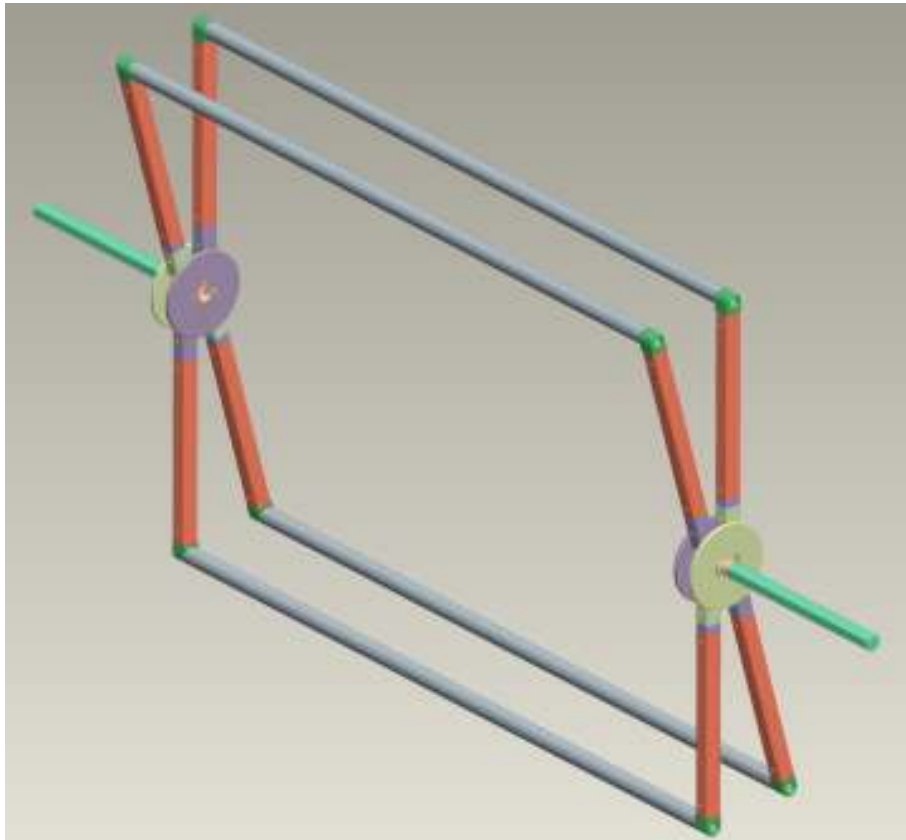


Abbildung 7: Gabelablage; Umfangsreduzierung durch Zusammenklappen

Spezielle für die Fixierung durch Vernähen bietet diese Ablagevariante einen wesentlichen Vorteil. Da das Gelege, außer auf den vier Faserablagen, frei liegt, kann die Nadel ungehindert durchstechen. Weiterhin ist das „Entformen“ des Geleges gegenüber der Zylinderablage einfacher realisierbar. Das Auftrennen könnte im einfachsten Fall mit einer Schere erfolgen. Durch das Schwenken der Gabelarme besteht zudem die Möglichkeit, das Gelege ohne ein Auftrennen in Längsrichtung zu entformen (Reduzierung des Schwenkwinkels führt zur Verkleinerung des Vorrichtungsumfangs). Somit könnten schlauchförmige Halbzeuge hergestellt werden.

Ein wesentliches Problem dieser Ablagevariante ist die Gestaltung der Wendezone. Bedingt durch die gewünschte Einstellbarkeit des Ablageumfangs und somit der herstellbaren Halbzeugbreite muss auch die Wendezone angepasst werden können.

Die äußeren Enden der Gabelarme mit den darauf befindlichen Aufnahmen für die axial verlaufenden Rohre bilden die Eckpunkte eines Rechtecks. Die Verbindungen zwischen diesen

Punkten verkörpern die Wendezone. Durch Schwenken und Variation der Gabelarmlänge ändert sich automatisch die Länge dieser Verbindungen. Da eine stufenlose Umfangsverstellung gewährleistet werden soll, kann folglich keine starre Wendezone (z.B. leistenförmig) verwendet werden.

Eine Möglichkeit eine stufenlos verstellbare Wendezone zu realisieren ist in der Verwendung von seil- oder kettenförmigen Hilfselementen zu sehen. Derartige Elemente können in Umfangsrichtung auf der Vorrichtung abgelegt werden. Da sie in ihrer Querrichtung flexibel sind, können die Eckpunkte jedes beliebigen Rechtecks umspannt werden. Um eine Auslenkung der Wendezonenelemente durch die wirkenden Kräfte der abgelegten Rovings zu vermeiden, müssen sie entsprechend vorgespannt werden. Dies kann durch einen einfachen mechanischen Spannmeehanismus an einem der Gabelarme erfolgen.

Es ist davon auszugehen, dass die abgelegten Rovings auf den geraden seilförmigen Wendezonenbereichen zum Verrutschen neigen und somit kein exaktes Ablagebild erzielt werden kann. Dementsprechend sind geeignete Zusatzelemente zu integrieren, die dies verhindern. Vorstellbar sind hierfür z.B. kugel- oder kegelförmige Elemente, die sich auf den seilförmigen Wendezonen befinden und zwischen denen die abgelegten Rovings Halt finden (Perlenkettenprinzip). Eine weitere Variante ist die Integration von nadelförmigen Elementen in gewissen Abständen. Diese garantieren ebenfalls die erforderliche Flexibilität der Wendezone bei der Ablage auf dem Umfang und verhindern ein Verrutschen der Rovings. Allerdings ist die technische Umsetzung dieser Variante wesentlich schwieriger.

Die möglichen Varianten zur Gestaltung der Wendezone sind an der konzipierten Gabelablage in vereinfachter Form zu erproben. Darauf aufbauend ist eine geeignete Variante bzw. eine Kombination von geeigneten Varianten auszuwählen, die für eine spätere serientechnische Umsetzung realisierbar ist.

3.2 Fertigung Gabelablage

Im weiteren Verlauf des Projektes wurde auf der Basis der entwickelten CAD-Modelle ein modular aufgebauter Prototyp einer Gabelablage hergestellt. Bei der Konzeption wurde bereits auf einen möglichst einfachen und preiswerten Aufbau der Ablagevariante Wert gelegt. Lediglich die Schwenkeinheiten und die Verbindungselemente (Verbindungsstücke Schwenkeinheit - Gabelarme, Verbindungsstücke Gabelarme – Axialrohre) sind Dreh- und Frästeile. Diese Bauteile werden nur einmalig für alle denkbaren Vorrichtungsvarianten benötigt. Bei allen Teilen die für entsprechende Vorrichtungsvariationen austauschbar sein müssen, handelt es sich um einfache Standarthaltzeug (Rundrohre bzw. Vierkantrohre), die lediglich abge-

längt und mit Querbohrungen versehen werden müssen. Somit ist eine einfache und kostengünstige Erweiterung des modularen Bausatzes möglich (weitere Axialrohre zur Variation der herstellbaren Halbzeuglänge, weitere Gabelarme zur Variation der herstellbaren Halbzeugbreite). Zur Montage werden die Einzelteile einfach zusammengesteckt und miteinander verschraubt. Somit kann die Ablagevariante auch in relativ kurzer Zeit umgerüstet werden. Die modular aufgebaute Prototyp-Gabelablage und dazugehörige Austauschteile zur Variation von Vorrichtungslänge und –umfang sind in Abbildung 8 dargestellt.



Abbildung 8: modular aufgebaute Gabelablage

Abbildung 9 zeigt die in der Wickelmaschine eingespannte Gabelablage mit zusammenschwenkten Gabeln (Variante mit 100mm Gabelrohren).



Abbildung 9: Gabelablage; eingeschwenkt zur Umfangsreduzierung

In Abbildung 10 ist die eingespannte Gabelablage mit maximalem Schwenkwinkel dargestellt. Es ist deutlich die dadurch entstehende Umfangsvergrößerung erkennbar.



Abbildung 10: Gabelablage; ausgeschwenkt zur Umfangserhöhung

In weiteren Schritten wurden mit der gefertigten Gabelablage verschiedenen Versuche zur Gestaltung der Wendezone durchgeführt. Auf die dabei gewonnenen Erkenntnisse und die ausgewählte bevorzugte Gestaltungsvariante soll im abschließenden Bericht zum Projekt näher eingegangen werden.

Mit dieser optimierten Gabelablagenkonstruktion wurden weiterhin, in Analogie zur Zylinderablage (siehe Kapitel 2), verschiedene Wickelversuche durchgeführt. Einige prinzipielle Erkenntnisse gelten für beide Ablagevarianten gleichermaßen (Verarbeitung verschiedener Faserarten, Verarbeitung verschiedener Rovings, Erzeugung mehrerer Bedeckungen, Bevorzugung großer Wickelwinkel usw.). Hierauf und auf spezielle Besonderheiten bei der Verwendung der Gabelablage soll ebenfalls im abschließenden Bericht zum Projekt näher eingegangen werden.

4 Fixierung der Wickelhalbzeuge

Einige wesentliche Möglichkeiten der Fixierung textiler Halbzeuge wurden bereits in /2/ genannt und teilweise näher beschrieben (siehe hierzu auch /3/, /4/, /5/). Prinzipiell wurde hierbei zwischen Fixierung durch Vernähen und Fixierung unter Verwendung von Zusatzstoffen (Bindern, Kleber usw.) unterschieden. Weiterhin wurden bereits im Rahmen von Vorversuchen die Fixierung mittels nachträglichen Vernähens und die Verwendung von Klebebandstreifen näher untersucht /2/.

Das Vernähen ist ein weit verbreitetes Verfahren zur Fixierung textiler Halbzeuge (Gelegetherstellung, Preformherstellung), welches jedoch eine kostenaufwendige Anlagentechnik bedingt. Für die Herstellung von flächigen Halbzeugen (Gelege) werden spezielle Anlagen verwendet und zur Preformfertigung kommen beispielsweise Roboter mit Nähköpfen zur Anwendung. Ein weiterer Nachteil der Nähverfahren ist in den teilweise entstehenden Schädigungen des Halbzeuges, die beim Durchstechen mit der Nadel entstehen, zu sehen.

Aus diesen Gründen wurde im Rahmen des Projektes ebenfalls die Fixierung unter Verwendung von Zusatzstoffen untersucht. Derartige Zusatzwerkstoffe müssen die herzustellenden Halbzeuge in ausreichender Form fixieren und dürfen zugleich bei der Weiterverarbeitung sowie im konsolidierten Bauteil nicht als Stör- bzw. Fehlstelle wirken. Bei der Herstellung von hochwertigen Faserverbundbauteilen sind Epoxydharze die am häufigsten verwendeten Matrixwerkstoffe. Dementsprechend wurde sich bei den Untersuchungen für ein thermoplastisches Epoxydharz (Rütapox® 0197; Fa. Bakelite AG) als Zusatzwerkstoff entschieden. Dieser Werkstoff wird bei der späteren Durchtränkung und Aushärtung der Bauteile vollständig in die Epoxydharzmatrix eingebunden und bietet somit besonders gute Voraussetzungen. Mit diesem Material behandelte flächige Halbzeuge sind bereits am Markt erhältlich und zeichnen sich durch eine gute Verarbeitbarkeit aus.

Das Material schmilzt bei einer Temperatur von ca. 160 °C. Der Prozess des Schmelzens und anschließenden Erstarrens ist mehrfach wiederholbar. Somit können derart vorbehandelte Faserhalbzeuge aufeinander abgelegt und miteinander verklebt werden. Weiterhin lassen sich die Halbzeuge um komplexe Werkzeugkonturen drapieren und behalten nach dem Erstarren die gewünschte Form wesentlich besser als unbehandelte Halbzeuge.

Das thermoplastische Epoxydharz ist in Pulverform oder als Granulat erhältlich. Abbildung 11 zeigt das Schmelzklebergranulat, wie es als Ausgangsmaterial für die weiteren Versuche verwendet wurde.



Abbildung 11: Schmelzklebergranulat

Für das Aufbringen des Schmelzklebers auf die Faserhalbzeuge sind verschiedene Varianten denkbar. Zum einen ist es denkbar das Material als Pulver aufzustreuen und anschließend mittels Strahlern, Heißluft oder beheizten Kernen aufzuschmelzen. Als alternative Variante kann das Material auch aufgeschmolzen und anschließend aufgesprüht werden. Beide Varianten eignen sich sowohl für großflächige als auch für lokale Fixierungen. Der Auftrag kann sowohl auf einer Einzellage als auch zwischen verschiedenen Lagen erfolgen.

Bei der Technologie zur Herstellung bauteilnaher Fasergelege werden die einzelnen Roving gezielt und vollautomatisch mit Hilfe einer Wickelmaschine auf den entsprechenden Kernen abgelegt. Dementsprechend bietet sich die eingesetzte Anlagentechnik auch dazu an Klebfäden kontrolliert auf die zuvor abgelegten Rovings aufzubringen. Hierzu sind ebenfalls zwei verschiedene Konzepte denkbar. Zum einen könnte oberhalb des Wickelkerns eine beheizte Klebdüse angeordnet werden, in der das Material aufgeschmolzen wird. Die Klebdüse sollte in axialer Richtung (Richtung der Drehachse des Wickelkerns) verfahrbar sein. Durch die koordinierte Axialbewegung der Klebdüse und Rotationsbewegung des Kerns könnte somit jeder beliebige Punkt des Kerns mit Klebstoff belegt werden. Diese Variante bedingt allerdings ggf. die Integration einer zusätzlichen Bewegungsachse in die Wickelmaschine, welche zudem steuerungsseitig einzubinden wäre. Weiterhin sollte die Klebdüse für einen definierten Auftrag des Materials einen geeigneten Verschlussmechanismus aufweisen. Somit ist hierbei mit nicht unerheblichen Mehrkosten zu rechnen. Der Vorteil dieser Variante ist, dass das granulatformige Ausgangsmaterial direkt und ohne Zwischenverarbeitungsschritte verwendet werden kann.

Die zweite Möglichkeit besteht darin, in einem Zwischenschritt endlose Klebefäden herzustellen, die dann in Spulenform bereitgestellt werden. Diese lassen sich anschließend auf der Wickelanlage weiterverarbeiten. Hierbei ist es denkbar bereits während der Rovingablage einen oder mehrere Klebefäden mit abzulegen. Somit lassen sich Halbzeuge mit einem erheblichen Anteil an Klebstoff herstellen. Durch eine anschließende Erwärmung wird dann das Material kurzzeitig aufgeschmolzen und fixiert.

Alternativ können nach der Faserablage auch einzelne Klebefäden gitterförmig aufgebracht werden (unvollständige Bedeckung). Um eine Fixierung der einzelnen Rovings untereinander zu erreichen, sollte der Ablagewinkel (Wickelwinkel) des Klebfadens von dem der Rovings abweichen. Die Bereiche in denen das Wickelgelege zur Entformung beschnitten werden muss (Umfangsschnitte in den Bereichen der Wendezone, Längsschnitt), können gezielt durch mit einfachen Umfangs- bzw. Axialwicklungen aufgetragenen Klebefäden fixiert werden.

Neben der separaten Anwendung der einzelnen genannten Varianten ist auch eine Kombination der Möglichkeiten denkbar und durchaus sinnvoll. So könnten z.B. die Beschnittbereiche durch gezielt abgelegte Klebefäden und großflächige Bereiche durch einen feinen Pulver- oder Sprühauftrag fixiert werden.

Um die genannten Auftragsvarianten näher untersuchen zu können, wurden verschiedene Klebdüsen konzipiert und entwickelt. In Abbildung 12 ist das CAD-Modell einer Klebdüse dargestellt.

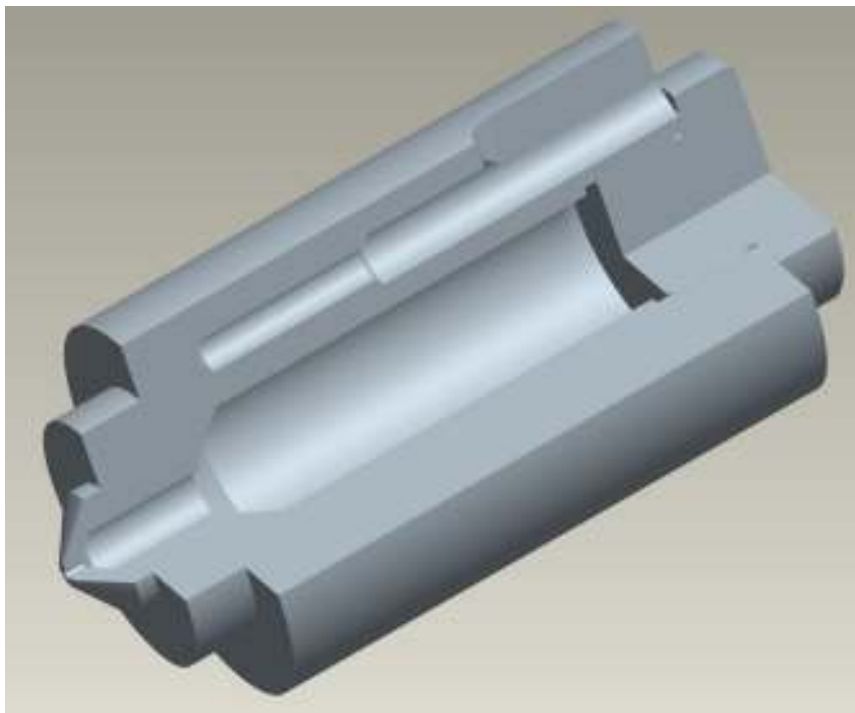


Abbildung 12: CAD-Modell einer ersten Klebdüsenvariante (Schnittdarstellung)

Die Klebdüsen sind als zylindrische Behälter konzipiert, in die das Granulat eingefüllt werden kann. Am Außendurchmesser des Bauteils ist ein Heizband angeordnet, mit welchem das Aufschmelzen des Materials realisiert wird. Um die geforderten Aufschmelzbedingungen möglichst exakt einhalten zu können, ist ein Temperaturfühler integriert, der zugleich Bestandteil eines Regelkreises ist. Der Behälter ist verschließbar und besitzt einen Anschluss zur Beaufschlagung mit Druckluft und eine austauschbare Düse. Während des Betriebs wird der aufgeschmolzene Klebstoff aufgrund des angelegten Druckes durch die Düse gepresst. Der dabei entstehende Klebstrang kann dann beispielsweise auf den Kern abgelegt werden (Variante mit verfahrbarer Klebdüse). Die Strangstärke ist dabei im Wesentlichen vom vorhandenen Düsendurchmesser abhängig.

In einer Reihe von Versuchen wurde die Herstellung von Klebefäden erprobt, die in einem weiteren Arbeitsgang auf die Wickelgelege aufgebracht werden können. Hierfür wurde der in Abbildung 13 dargestellte Aufbau verwendet.



Abbildung 13: Herstellung Schmelzkleberfaden

Die Klebdüse ist hierbei fest mit dem verfahrbaren Schlitten der Wickelmaschine verbunden. In der Maschine ist ein Kern eingespannt, auf dem der Faden aufgewickelt wird. Durch Verfahren des Schlittens kann der Faden gezielt auf dem Kern abgelegt werden. Alternativ zur

Wickelmaschine wären für eine eventuelle spätere Serienfertigung handelsübliche Aufspulvorrichtungen für fadenförmige Güter einsetzbar.

Der Durchmesser des entstehenden Klebefadens ist vom Düsendurchmesser abhängig und kann weiterhin maßgeblich über die gewählte Abzugsgeschwindigkeit (Kerndrehzahl) beeinflusst werden. Abbildung 14 zeigt den aus der Düse austretenden Klebefaden. Im Bild ist deutlich zu erkennen, dass direkt am Austritt ein wesentlich größeres kegelförmiges Klebervolumen vorhanden ist, welches sich durch den Abzug zu einem Faden mit dünnem und konstantem Querschnitt verjüngt.

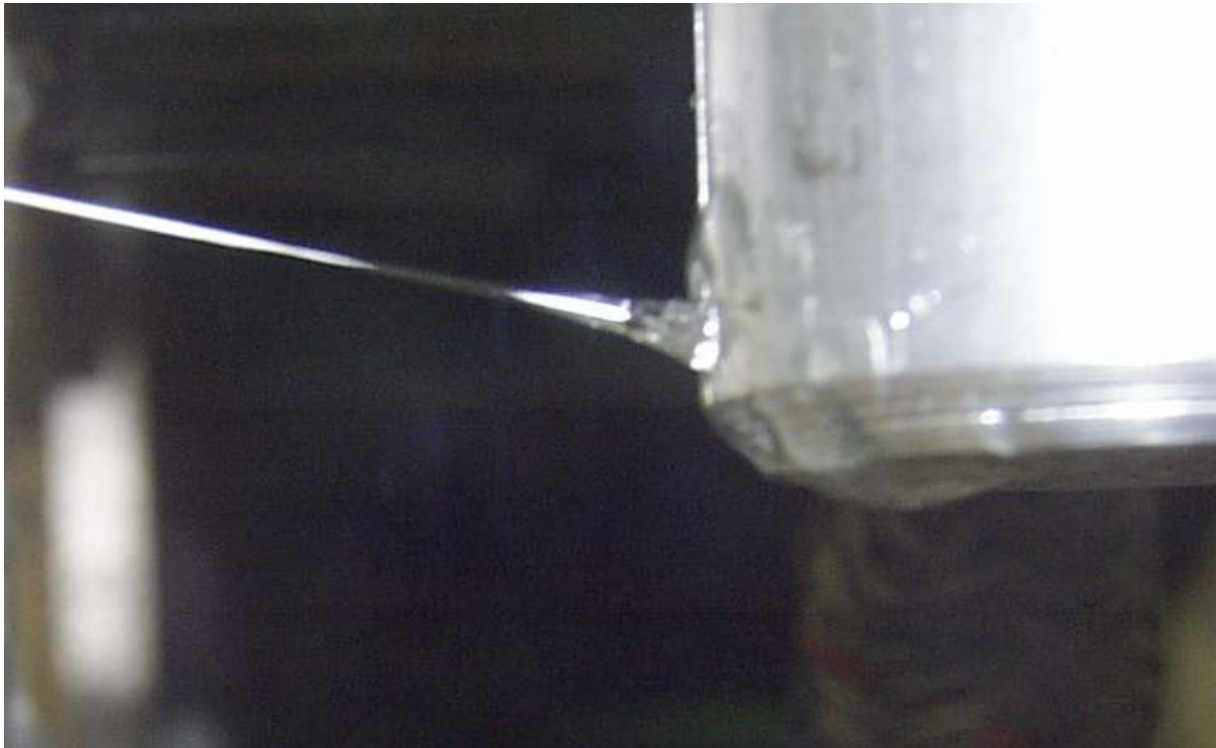


Abbildung 14: Abzug des Klebefadens

Durch die Variation der Parameter konnten Klebefäden mit Durchmessern von einigen hundertstel Millimetern bis hin zu mehreren zehntel Millimetern hergestellt werden. Hierzu ist ergänzend zu erwähnen, dass sehr dünne Klebefäden sehr biegsam, hinsichtlich der Zugkräfte (Aufspulen, Wickeln auf Gelege) aber extrem empfindlich sind (Fadenriss). Dickere Klebefäden sind sehr steif und neigen bei Biegebeanspruchung (Aufspulen auf Kern) schnell zum brechen. Dementsprechend sind bei dieser Technologievariante gewisse Grenzen einzuhalten. In Abbildung 15 sind zwei Spulen mit hergestellten Schmelzkleberfäden dargestellt. Die Durchmesser der Fäden betragen hier 0,08 mm bzw. 0,29 mm.



Abbildung 15: Spulen mit hergestellten Schmelzkleberfäden

In einem weiteren Schritt wurde versucht, unter Verwendung des Schmelzklebers, textile Halbzeuge miteinander zu verkleben und somit eine Fixierung zu realisieren. Um die verschiedenen Ausführungsformen miteinander vergleichen zu können, wurden Versuche mit Granulat, Pulver und den hergestellten Klebefäden durchgeführt.

Für die Versuche wurde das Granulat / Pulver bei Raumtemperatur auf ein Halbzeug aufgestreut bzw. die Fäden aufgelegt (siehe Abbildung 16 und Abbildung 17).



Abbildung 16: CF-Halbzeuge mit Granulat / Pulver

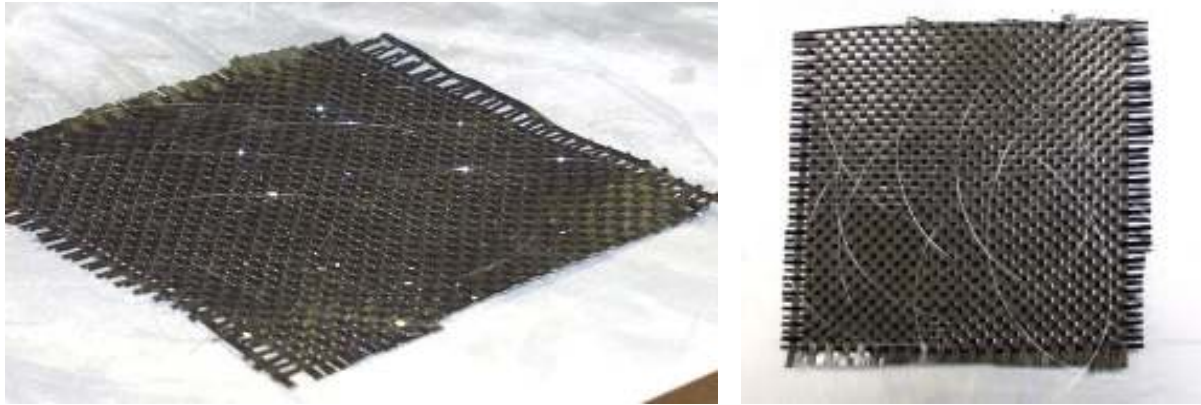


Abbildung 17: CF-Halbzeuge mit verschiedenen Klebfäden

Anschließend erfolgte das Auflegen einer zweiten Halbzeuglage. Dieser Aufbau wurde dann kurzzeitig mit einer Heißluftpistole erwärmt. Hierbei wurde kein zusätzlicher Druck auf den Aufbau ausgeübt. Bei den Versuchen mit Granulat und Pulver war der Klebstoffanteil relativ hoch und teilweise waren im Nachhinein Materialanhäufungen durch den Aufbau hindurch spürbar. Diese wären für eine weitere Verarbeitung der Halbzeuge hinderlich. Der Klebstoffanteil bei den Klebfadenvarianten ist hingegen sehr gering. Trotz der deutlich geringeren Klebermenge sind aber auch hier die beiden Lagen gut miteinander verbunden und fixiert.

Mit den durchgeführten Vorversuchen konnte nachgewiesen werden, dass die Verwendung von nachträglich aufgebracht Klebfäden prinzipiell für die Fixierung textiler Faserhalbzeuge geeignet ist. In einem weiteren Schritt ist nun diese Technologie an die Erfordernisse für die Herstellung bauteilnaher Fasergelege anzupassen.

Hierfür wurde eine Spulenaufnahme konzipiert, die die Klebfadenspule aufnimmt und mit dem Schlitten der Wickelmaschine verfahren wird. Zur Ablage wird der Klebfaden über das Fadenauge geführt. Das Ablagemuster entsteht wie bei einem normalen Wickelprozess durch die Verfahrensbewegung von Kern und Schlitten. Um bei der Ablage eine gewisse Fadenspannung zu erzeugen, die vergleichsweise gering sein muss, besitzt die Spulenaufnahme eine einstellbare Reibungsbremse.

Abbildung 18 zeigt, wie ein vorher gefertigter Klebfaden auf den Kern der Zylinderablage aufgebracht wird.



Abbildung 18: Aufbringen des Schmelzkleberfadens auf Zylinderablage

Bei den durchgeführten Versuchen wurden verschiedene Problemstellen ermittelt. Wie bereits erwähnt, sind die hergestellten Klebefäden zum Teil sehr empfindlich und gehen dadurch bei der weiteren Verarbeitung kaputt. Teilweise traten schon bei einfachen Umfangswicklungen Fadenbrüche auf. Eine zerstörungsfreie Umlenkung um die Nadelkränze ist nahezu nicht möglich.

Bei mit einfachen Umfangswicklungen aufgebrachten Klebefäden wurde zum Aufschmelzen eine Heißluftpistole eingesetzt. Der Luftstrom führte dazu, dass sich auf der Gelegeoberfläche kleine Klebertropfen bildeten und diese sich über eine gewisse Breite unregelmäßig verteilten. Dieses Wegblasen der Klebertropfen könnte durch die Verwendung eines Strahlers ohne Luftstrom oder durch einen beheizten Kern verhindert werden. In Abbildung 19 ist ein Bereich der Geleges mit den aufgeschmolzenen und verteilten Klebertropfen dargestellt.



Abbildung 19: Aufgeschmolzener Klebefaden auf einem Gelege

Das Problem des Wegblasens der Klebertropfen besteht jedoch im Wesentlichen nur bei einer Fixierung der äußeren Gelegelage. Bestehen die Gelege aus mehreren Schichten (mehrere Kernbedeckungen), die zueinander fixiert werden sollen, so kann zwischen den einzelnen Bedeckungen ein Klebefaden aufgebracht werden. Das Aufschmelzen erfolgt dann nach dem Aufbringen der äußeren Bedeckung durch diese hindurch. Der Kleber schmilzt dabei an der zuvor bestimmten Ablageposition auf und kann nicht weggeblasen werden.

Da für das Entformen mehrschichtiger Gelege (Aufschneiden in Umfang- und Längsrichtung) auch eine Fixierung der äußeren Gelegelage sinnvoll ist und bei einschichtigen Gelegen die Fixierung nur von außen erfolgen kann, da sonst die Gefahr des Verklebens mit dem Kern besteht, wurde nach einer alternativen Lösung gesucht. Diese wurde in einer Variante mit Trägerfaden gefunden. Bei dieser Variante wird ein sehr feiner Trägerfaden aus Glasfaserfilamenten mit dem Schmelzkleber ummantelt. Hierfür wurde die Aufschmelzeinrichtung mit einer modifizierten Düse ausgestattet, bei der in einem kontinuierlichen Prozess der trockene Trägerfaden zugeführt, in der Düse imprägniert (aufgeschmolzener mit Druck beaufschlagter Klebstoffvorrat im Behälter) und durch die Wickelmaschine abgezogen und aufgespult wird. Die Schmelzkleberdicke kann auch hier über die Düsengeometrie variiert werden. Das Ummanteln und Aufspulen des Trägerfadens ist in Abbildung 20 dargestellt.



Abbildung 20: Herstellung eines ummantelten Trägerfadens

Abbildung 21 zeigt eine hergestellte Spule mit einem mit Schmelzkleber ummantelten Trägerfaden.



Abbildung 21: Spule Trägerfaden mit Schmelzkleber

Ein derartiger ummantelter Trägerfaden bietet einige wesentliche Vorteile. Zum einen ist das Gebilde bei der Herstellung und Weiterverarbeitung vergleichsweise unempfindlich gegenüber Fadenbrüchen, wie sie von den reinen Schmelzkleberfäden bekannt sind. Bei extremer Beanspruchung des Fadens bricht zwar bereichsweise die Ummantelung auf (im Wesentli-

chen quer zum Trägerfaden), jedoch bleiben die Kleberstücke zum überwiegenden Teil am Trägerfaden haften. Voraussetzung hierfür ist allerdings eine eher geringe Fadenspannung und eine möglichst geringe Zahl an Umlenkstellen. Somit ist gewährleistet, dass mit dem Trägerfaden auch immer ein nahezu konstantes Klebervolumen abgelegt werden kann. Durch die vergleichsweise hohe Unempfindlichkeit gegenüber Fadenbrüchen stellen höhere Verarbeitungsgeschwindigkeiten kein Problem dar. Weiterhin kann davon ausgegangen werden, dass eine Optimierung hinsichtlich Trägerfaden und aufgetragener Klebstoffmenge zu einer noch besseren Verarbeitbarkeit führt. Auch hier gilt, dass eine zu geringe Ummantelung mit Klebstoff später zu einer schlechten Fixierung führt. Im Gegensatz dazu bewirkt ein zu massiver Auftrag von Klebstoff eine Erhöhung der Gefahr des Aufbrechens und Abplatzens von Klebstoffstücken.

Zum anderen bleibt der Klebstoff beim Aufschmelzen mit einer Heißluftpistole am Trägerfaden und an der Gelegeoberfläche haften. Es findet so starke Tröpfchenbildung statt und der Klebstoff wird nicht unkontrolliert auf der Gelegeoberfläche verteilt. Ist zudem der ummantelte Trägerfaden in einem vom Gelegewinkel abweichenden Winkel abgelegt, wird mit ihm eine Querverbindung zwischen den einzelnen Rovingsträngen des Geleges geschaffen. Somit kann eine gute Fixierung des Geleges gewährleistet werden.

In Analogie zu den ersten Vorversuchen mit Granulat, Pulver und den reinen Klebefäden wurden auch hier Tests mit textilen Halbzeugen (CF-Gewebe) durchgeführt. Abbildung 22 zeigt ein Halbzeug mit abgelegten ummantelten Trägerfäden vor dem Auflegen der zweiten Halbzeuglage.

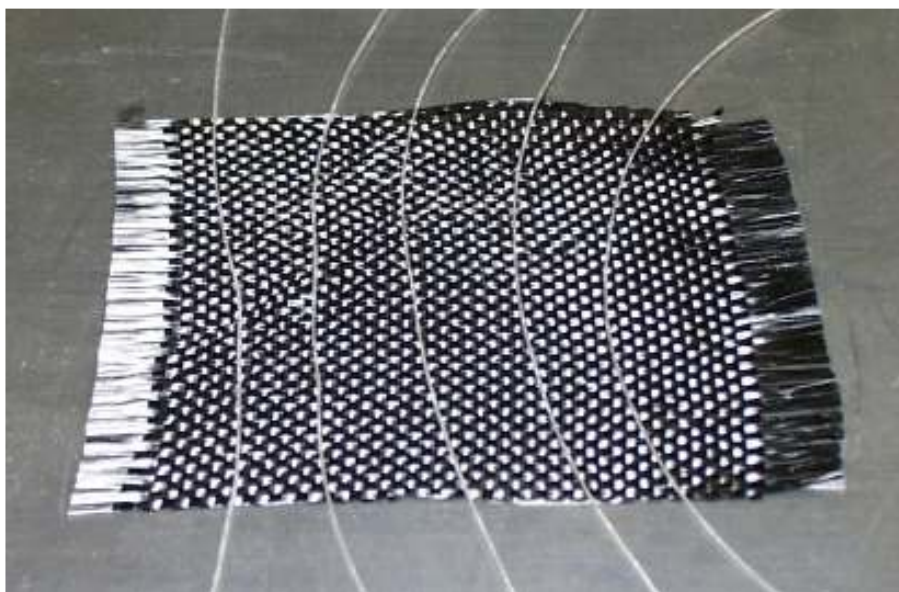


Abbildung 22: CF-Halbzeug mit ummanteltem Trägerfaden

Nach dem Auflegen der zweiten Halbzeuglage erfolgte auch hier das Aufschmelzen des Klebers durch das textile Material hindurch. Es konnten ebenfalls die beiden Lagen gut miteinander verbunden und fixiert werden.

Mit den ummantelten Trägerfäden wurden weitere Versuche zur Herstellung vom Wickelgelegen durchgeführt. Bei den Versuchen ist zwischen einschichtigen (eine Bedeckung) und mehrschichtigen (mindestens zwei Bedeckungen) Wickelgelegen zu unterscheiden. Für ein einschichtiges Gelege ist die Fixierung auf mindestens einer Außenseite aufzubringen. Bei einem mehrschichtigen Gelege erfolgt die Fixierung in der Regel zwischen den Einzelschichten (Bedeckungen). Zusätzlich kann aber auch auf den Außenflächen eine Fixierung erfolgen. Um eine ausreichende Fixierung in den Bereichen der späteren Entformungsschnitte gewährleisten zu können, ist es sinnvoll hier vor dem Aufbringen der ersten Bedeckung ummantelte Klebefäden auf dem Kern abzulegen. In der Regel erfolgt das Entformen durch einen Axial- und zwei Umfangsschnitte. Für den Axialschnitt sind, wie in Abbildung 23 dargestellt, zwei parallel zur Drehachse verlaufende Ummantelte Trägerfäden abzulegen, zwischen denen später der Schnitt gesetzt wird.



Abbildung 23: Axial verlaufende Trägerfäden auf Kern

Für die Umfangsschnitte ist je Kernende eine Fixierung ausreichend, die auf dem Randbereich des späteren Halbzeuges liegt. Der andere Bereich in Richtung Wendezone muss nicht fixiert werden, da er nach dem Entformen als Abfall übrig bleibt.

Die Anzahl der Positionen für die abzulegenden Trägerfäden in der Axial- und Umfangsrichtung erhöht sich falls aus dem Gesamtgelege später mehrere Einzelgelege gefertigt werden sollen. Dies gilt sowohl für die radiale als auch axiale Fixierung.

Nach dem Aufbringen der Bedeckung des einschichtigen Geleges sind ebenfalls wieder Fixierungsfäden in den Bereichen des Axial- und Umfangsschnittes aufzubringen. Weiterhin sind zur Stabilisierung und Fixierung des Gesamtgeleges Trägerfäden mittels einer Helixwicklung auf die Außenseite der Bedeckung abzulegen. Abbildung 24 zeigt die abgelegten Trägerfäden in den Entformungsbereichen und auf dem Gesamtgelege.



Abbildung 24: Bedeckung mit abgelegten Trägerfäden (axial/radial; Helix)

Die aufgebrauchte Menge der Trägerfäden kann über verschiedene wickeltechnische Parameter, wie Bandmusterkonstante, Wickelwinkel, Bandbreite usw., variiert werden. Somit ist es möglich, die Stärke der Fixierung gezielt einzustellen und an spätere technologische Erfordernisse anzupassen.

Wie bereits erwähnt, sollte der Trägerfaden in einem vom Wickelwinkel des Geleges abweichenden Winkel abgelegt werden, um eine Querverbindung zwischen den Rovings zu schaffen. Im abgebildeten Beispiel beträgt der Wickelwinkel des Geleges $\pm 60^\circ$ und der Wickelwinkel des ummantelten Trägerfadens $\pm 75^\circ$.

Weiterhin ist es denkbar, gezielt in einzelnen Abschnitten Fixierungsfäden aufzubringen. Dies ist z.B. für Gelege interessant, in die nach der Entformung Ausschnitte eingearbeitet werden müssen.

Nach dem Ablegen der Trägerfäden erfolgt das Aufschmelzen des Klebstoffes und somit die eigentliche Fixierung des Wickelgeleges. Dies kann beispielsweise mit Hilfe von Strahlern realisiert werden, wie es in Abbildung 25 dargestellt ist. Die Strahlerlänge muss dabei nicht gleich der Kernlänge entsprechen. Werden kleinere Strahler am Schlitten der Wickelmaschine befestigt, können diese entlang des rotierenden Kerns verfahren werden und sind somit zur Erwärmung jeder beliebigen Stelle des Wickelgeleges nutzbar.



Abbildung 25: Aufschnelzen des Klebers mit Strahler

Alternativ zum Strahler wurden auch erfolgreich Versuche mit einer Heißluftpistole durchgeführt. Nach dem Aufschmelzen und anschließendem Abkühlen des Fixierklebstoffes erfolgt die Entformung des Halbzeuges. Abbildung 26 zeigt die Entformung eines einschichtigen Wickelgeleges.



Abbildung 26: Entformung des Wickelgeleges

In der Abbildung sind die Wendezonen bereits entfernt (Umfangsschnitte) und der Axialschnitt ist weitestgehend gesetzt. In Abbildung 27 sind die Innen- und Außenseite eines entformten einschichtigen Geleges dargestellt.

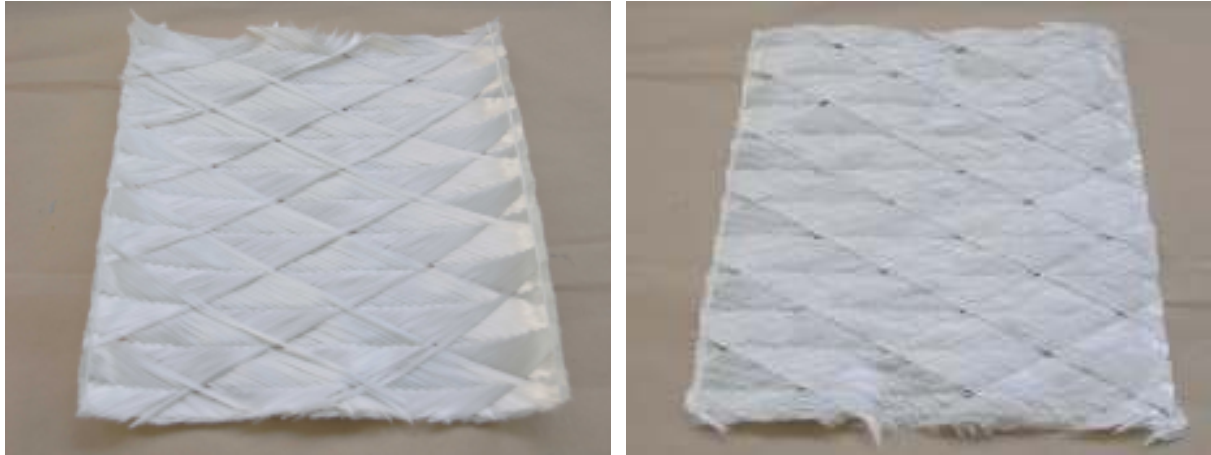


Abbildung 27: Fertiges einschichtiges GF-Wickelgelege (Innen- und Außenseite)

Für ein zwei- oder mehrschichtiges Wickelgelege ist das Aufbringen der Trägerfäden als Helixwicklung zwischen den einzelnen Bedeckungen im Regelfall ausreichend. In den Bereichen des Beschnitts sollten jedoch auch auf den Außenseiten Trägerfäden in Axial- und Umfangsrichtung vorgesehen werden. Ein derartig hergestelltes Halbzeug vor der Entformung ist in Abbildung 28 dargestellt.



Abbildung 28: Zylinderablage mit zwei Bedeckungen

Damit die Bedeckungen zueinander fixiert sind, muss das Aufschmelzen durch die äußere Bedeckung hindurch erfolgen. Hierzu können ebenfalls Strahler oder Heißluftpistolen verwendet werden. Werden mehrschichtige Gelege (mehr als zwei Bedeckungen) hergestellt, so sind ggf. vor dem Herstellen der nachfolgenden Bedeckung Zwischenaufschmelzzyklen zu durchlaufen. Weiterhin führt unter Umständen das Anpressen der äußeren Bedeckung auf die innere zu einer besseren Verklebung und Fixierung der Lagen. Abbildung 29 zeigt die Innen- und Außenseite eines hergestellten zweischichtigen Geleges.

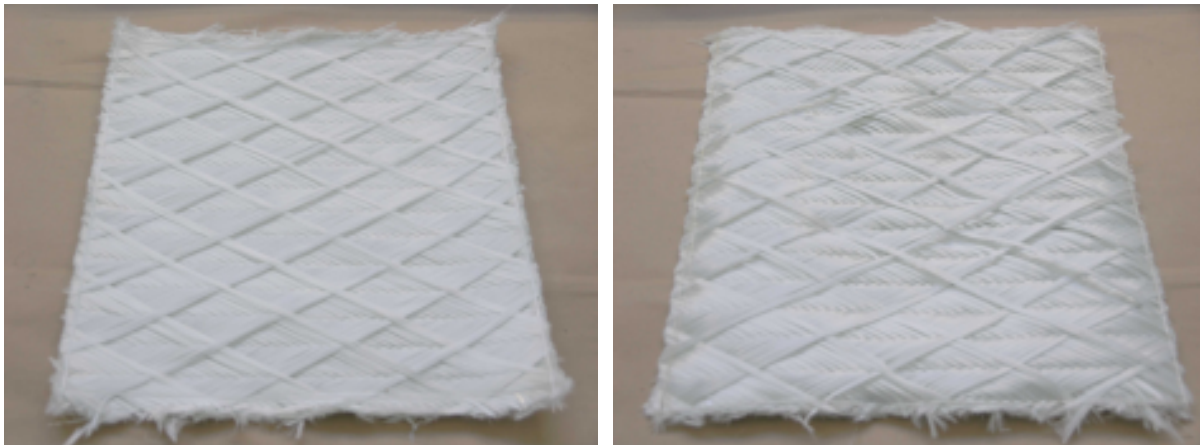


Abbildung 29: Fertiges zweischichtiges GF-Wickelgelege (Innen- und Außenseite)

Im Rahmen des Projektes wurde mit der Verwendung von ummantelten Trägerfäden zur Fixierung von bauteilnahen Fasergelegen eine geeignete Alternative zur Nähtechnik gefunden. Gegenüber der Nähtechnik weist diese Variante die nachfolgenden Vorteile auf:

- Verwendung der vorhandenen und eingesetzten Wickeltechnik sowie einfacher Zusatzeinrichtungen möglich (keine teure Nähtechnik erforderlich)
- keine Schädigung der Geleges durch das Durchstechen der Nadel
- Ablage und Aufschmelzen wesentlich schneller als Nähen

Nachteile der Variante sind in dem im Gelege verbleibenden Trägerfaden, welcher eine bestimmte Dicke aufweist, und in den Energieaufwendungen für das Aufschmelzen des Klebstoffes zu sehen. Hier ist jedoch noch ein hohes Optimierungspotential vorhanden und gezielte Anpassungen an die verfahrensbedingten Eigenheiten sind möglich.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Nach der Erarbeitung von prinzipiellen Konzepten für die neue Technologie, der Konstruktion sowie dem Bau einer ersten Ablagevariante und der Durchführung verschiedener Vorversuche wurde im weiteren Verlauf des Projektes die Eignung dieser ersten Ablagevariante erfolgreich nachgewiesen werden. Durch die Versuche konnten prinzipielle Hinweise und orientierende Vorgaben für die Herstellung von Wickelgelegen auf einer Zylinderablage erarbeitet werden. In einem weiteren Schritt wurde eine alternative Ablagevariante entwickelt und gebaut, welche eine höhere Variabilität für die Technologie ermöglichen soll. Diese Gabelablage ist im weiteren Verlauf zu optimieren und an die Erfordernisse des Verfahrens anzupassen. Ihre Eignung und Verwendungsfähigkeit ist ebenfalls mit verschiedenen Versuchen nachzuweisen.

Weiterhin wurden im Verlauf des Projektes alternative Verfahren zur Nähetechnik für die Fixierung der Wickelgelege entwickelt. Mit der Verwendung von mit Schmelzkleber ummantelten Trägerfäden wurde eine ideale Möglichkeit gefunden, die sich zugleich hervorragend mit der bereits eingesetzten Wickeltechnik kombinieren lässt.

Im Rahmen des Projektes sind weiterhin Versuche mit den verschiedenen Varianten durchzuführen und Probekörper herzustellen. Mit den Ergebnissen dieser Arbeit können dann die einzelnen Technologievarianten und –kombinationen einer Beurteilung unterzogen werden. Anschließend sind vergleichende Betrachtungen und Bewertung hinsichtlich der technologischen Anwendbarkeit und Wirtschaftlichkeit durchzuführen.

Als Ergebnis soll letztendlich eine optimale Technologie zur Herstellung bauteilnaher und kostengünstiger Fasergelege, insbesondere für spezielle Bauteile in kleinen Stückzahlen, herausgearbeitet werden. Diese soll der Industrie preiswerte und belastungsgerechte Faserhalbzeuge zur Verfügung stellen, die durch Standardgelege oder mit Sonderhalbzeugen nicht effektiv bereitgestellt werden können.

6 Literaturverzeichnis

- /1/ Schulz J.; Puckl, M.: Sachbericht zum FuE-Vorhaben “Entwicklung einer Pressenautoklavtechnologie”, Reg.-Nr.: 90/01, KVB Chemnitz
- /2/ Puckl, M.: Sachbericht zum FuE-Vorhaben “Technologieentwicklung für bauteilnahe Fasergelege”, Reg.-Nr.: 37/02, KVB Chemnitz, Januar 2003
- /3/ Friedrich K.: Verbundwerkstoffe und Werkstoffverbunde; DGM Informationsgesellschaft mbH, Frankfurt, 1997
- /4/ DE 19707125 C2, Verfahren zur Herstellung eines unidirektionalen Geleges aus parallel einlaufenden Hochleistungsfasern, Epo-Faser-Technik GmbH, Grundmann E. u.a., 22.02.1997
- /5/ DE 19733133 A1, Pulverförmige, vernetzbare Textilbinder-Zusammensetzung, Wacker-Chemie GmbH, Kohlhammer K. u.a., 31.07.1997

7 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

7.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zylinderablage; kompletter Wickelkern	2
Abbildung 2: Bewicklung Zylinderablage; Wickelbeginn.....	4
Abbildung 3: Bewicklung Zylinderablage; vollständig bewickelter Kern.....	4
Abbildung 4: Bewicklung Zylinderablage; Detail Wendezone	6
Abbildung 5: Prinzip der konzipierten Gabelablage	7
Abbildung 6: Gabelablage mit maximalem Umfang	9
Abbildung 7: Gabelablage; Umfangsreduzierung durch Zusammenklappen	9
Abbildung 8: modular aufgebaute Gabelablage	11
Abbildung 9: Gabelablage; eingeschwenkt zur Umfangsreduzierung.....	12
Abbildung 10: Gabelablage; ausgeschwenkt zur Umfangserhöhung	12
Abbildung 11: Schmelzklebergranulat	15
Abbildung 12: CAD-Modell einer ersten Klebdüsenvariante (Schnittdarstellung).....	16
Abbildung 13: Herstellung Schmelzkleberfaden	17
Abbildung 14: Abzug des Klebefadens.....	18
Abbildung 15: Spulen mit hergestellten Schmelzkleberfäden	19
Abbildung 16: CF-Halbzeuge mit Granulat / Pulver	19
Abbildung 17: CF-Halbzeuge mit verschiedenen Klebfäden.....	20
Abbildung 18: Aufbringen des Schmelzkleberfadens auf Zylinderablage	21
Abbildung 19: Aufgeschmolzener Klebefaden auf einem Gelege.....	22
Abbildung 20: Herstellung eines ummantelten Trägerfadens.....	23
Abbildung 21: Spule Trägerfaden mit Schmelzkleber	23
Abbildung 22: CF-Halbzeug mit ummanteltem Trägerfaden	24
Abbildung 23: Axial verlaufende Trägerfäden auf Kern	25
Abbildung 24: Bedeckung mit abgelegten Trägerfäden (axial/radial; Helix).....	26
Abbildung 25: Aufschmelzen des Klebers mit Strahler.....	27
Abbildung 26: Entformung des Wickelgeleges	27
Abbildung 27: Fertiges einschichtiges GF-Wickelgelege (Innen- und Außenseite).....	28
Abbildung 28: Zylinderablage mit zwei Bedeckungen.....	28
Abbildung 29: Fertiges zweischichtiges GF-Wickelgelege (Innen- und Außenseite).....	29

7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Umfangswerte der Gabelablage 8