



---

# Technischer Abschlussbericht

für das Verbundprojekt **PRO-CFK**,

Laufzeit des Vorhabens: **01.07.2003** bis **31.12.2006**

Zuwendungsempfänger:	Universität Bremen
Förderkennzeichen:	20W0303M
Berichtszeitraum:	01.07.2003 bis 31.12.2006

Erstellt von:

Name: Prof. Dr.-Ing. D. H. Müller

Datum: 6. März 2007

---

Rechtsverbindliche Unterschrift



# Inhaltsverzeichnis

<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>2</b>
<b>1 TEILPROJEKT PROTEX:</b> .....	<b>3</b>
<b>1.1 AP: Anforderungsprofil „Gesamtprozess“</b> .....	<b>3</b>
1.1.1 Projektierung und Zeitplanung .....	3
1.1.2 Situationsanalyse.....	3
1.1.3 Anforderungen an die Handhabungsprozesse .....	5
<b>1.2 AP: Garn und Textil</b> .....	<b>7</b>
<b>1.3 AP: Handhabung textiler Halbzeuge</b> .....	<b>8</b>
1.3.1 Prozessketten des Zuschnitttransports .....	8
1.3.2 Entwicklung eines Handhabungskonzeptes zur großflächigen Ablage von Rollenware .....	11
1.3.3 Entwicklung eines Handhabungskonzeptes zur teilflächigen Ablage von Zuschnitten .....	26
1.3.4 Steuerungstechnische Einbindung der Greifer in vorhandene Robotik .....	29
1.3.5 Untersuchungen zum Spanngreifer .....	32
1.3.6 Entwicklung eines Handhabungskonzeptes zur vollflächigen Ablage von Zuschnitten .....	37
<b>1.4 AP: Konfektionstechnik und Bauteilherstellung</b> .....	<b>51</b>
1.4.1 Entwicklung eines Konzepts zur Handhabung von konfektionierten Stringer- Preforms.....	51
1.4.2 Untersuchung zur Aufnahme des Stringers und Durchbiegung der Formstücke .	54
<b>1.5 AP: Demonstrator</b> .....	<b>57</b>
1.5.1 Spanngreifer .....	58
1.5.2 Rollengreifer .....	58
1.5.3 Stringergreifer.....	62
1.5.4 Siegelband – Abroller.....	63
<b>1.6 Literatur</b> .....	<b>65</b>
<b>2 TEILPROJEKT PROSA:</b> .....	<b>66</b>
<b>3 TEILPROJEKT CFK-PRODUKTIONSFORM</b> .....	<b>66</b>

## Erzielte Ergebnisse

Beiträge der Universität Bremen mit dem Bremer Institut für Konstruktionstechnik als ausführende Stelle.

### 1 Teilprojekt ProTex:

#### 1.1 AP: Anforderungsprofil „Gesamtprozess“

##### 1.1.1 Projektierung und Zeitplanung

Aufgrund des verschobenen Projektstarts wurde der Gesamtplan entsprechend angepasst: Masterplan „PROTEX“ in der Übersicht.

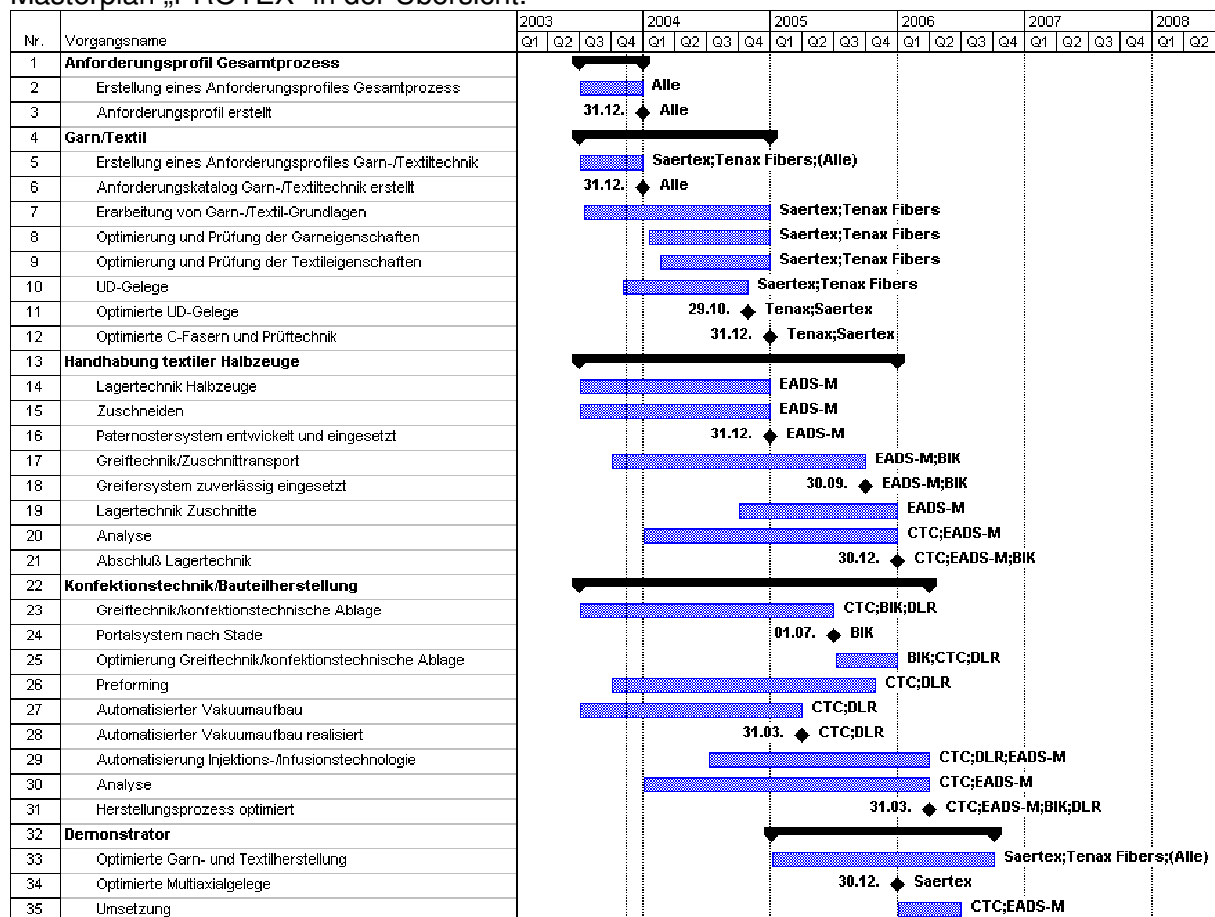


Bild 1: Gemeinsamer Zeitplan zum Teilprojekt Protex

##### 1.1.2 Situationsanalyse

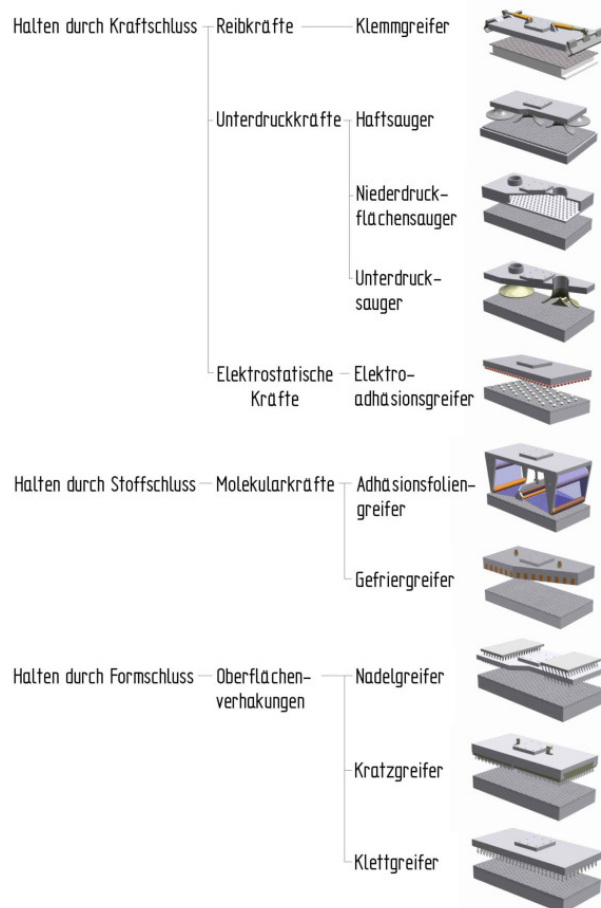
Textilien sind von ihrer Ausprägung her biegeschlaff und formlabil, was ihre Handhabung erschwert. Als zusätzliche Randbedingung ist die hohe Empfindlichkeit der Struktur sowohl auf mechanische als auch medienbeeinflusste Schädigung des Textils zu nennen. Der Zusammenhang zwischen textiler Struktur, Handhabungsfähigkeit und Einfluss der Handhabung auf die Eigenschaften des Faserverbundwerkstoffes ist somit noch ein wichtiges Feld für die Automatisierung dieser Prozesse.

Die Handhabung von formlabilen Bauteilen wird nach MILBERG und GÖTZ [1] durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Maße des Bauteils,
- werkstoff- und gestaltabhängige Formstabilität,
- Beanspruchbarkeit der Bauteilstruktur,
- Beanspruchbarkeit, Ebenheit und Rauheit der Bauteiloberfläche,
- Luftdurchlässigkeit des Materials oder einzelner Schichten,
- Vereinzelbarkeit der Bauteile und die Reibung zwischen gestapelten Schichten.

Der Greifer als Bindeglied zwischen Handhabungsgerät und zu greifendem Bauteil ist von zentraler Bedeutung für den Handlingprozess.

Ausgehend von den physikalischen Wirkprinzipien lassen sich mechanische, pneumatische und adhäsive Greifer unterscheiden [4]. Eine Übersicht zu möglichen Effektorprinzipien stellt die folgende Abbildung dar.



**Bild 2: Übersicht zu möglichen Greifprinzipien nach [4]**

Diese aufgezeigten Einflussparameter lassen zum einen die Komplexität des Themenfeldes der robotergestützte Handhabung von biegeschlaffen Bauteilen, zum anderen aber auch die Notwendigkeit für weitere Untersuchungen für prozessangepasste textile Halbzeuge deutlich werden. Insbesondere sind Entwicklungen auf diesem Gebiet für die kunststoffverarbeitende Industrie, die Textil- und Bekleidungsindustrie sowie für die Automobilindustrie relevant. Die Automatisierung im Bereich der Handhabung von biegeschlaffen, nicht formstabilen Bauteilen ist bisher eine Ausnahme.



Das Handling von textilen Halbzeugen stellt eine wesentliche Aufgabe beim Aufbau einer textilen Bauteilstruktur dar. Kennzeichnend ist hierbei das Bereitstellen des Halbzeugs, das Vereinzeln, das Greifen und Halten der Textilien beim Verfahren bzw. beim Bewegen des Handhabungssystems, sowie das Positionieren und Orientieren der Textilien. Der Greifer als Interface zwischen Handhabungsgerät und zu greifendem Bauteil ist von zentraler Bedeutung für den Handlingprozess.

Bei den mechanischen Greifern sind häufig Nadel-, Klemm- und Kratzengreifer im Einsatz, bei denen durch Kraft- oder Formschluss die notwendige Haltekraft erzeugt wird. Nadelgreifer stechen mit feinen Nadeln in die Textillagen, wobei die Nadeln meist gegenläufig angeordnet sind. Kratzengreifer bestehen aus zwei gegeneinander verfahrbaren Wirkflächen mit einer jeweils hohen Anzahl von Kratzenden. Die u-förmigen Drahtenden (Kratzenden) verhaken sich in der Textilloberfläche. Bei beiden Bauformen sind Fadenverschiebungen und Oberflächenbeschädigungen der Fasern im Halbzeug möglich und daher nachteilig zu bewerten. Die Funktionssicherheit solcher Greifer wird im Wesentlichen durch die Nadelform, Drahtstärke sowie die Spitzendichte beeinflusst. Die kraftschlüssige Verbindung durch Ausbildung und Klemmen einer Stofffalte charakterisiert den Klemmbackengreifer [2-5]. Der Einsatz dieses Greifers für multiaxiale Gelege scheint aufgrund seiner Funktionsweise fraglich. Durch die Erzeugung von Unterdruck bei pneumatischen Greifern kann eine für Faserhalbzeuge ausreichende Haltekraft aufgebracht werden. Dabei hat die Luftdurchlässigkeit des zu greifenden Materials entscheidenden Einfluss auf die Funktionssicherheit des Greifwerkzeugs [4].

Adhäsiv wirkende Greifer erzeugen durch einen Kraft- oder Stoffschluss entsprechende Haltekräfte. Dabei können durch Nutzung von elektrostatischen Feldern Bauteile gehalten werden. Nachteilig sind hier die meist geringen Haltekräfte der elektroadhäsiven Greifer [6-8]. Bei der Verwendung von Klebefolien oder -bändern wird durch einen Klebstoff die notwendige Verbindung zwischen Textil und Werkzeug aufgebaut. Auch hier sind eher kleine Haltekräfte kennzeichnend. Zudem lässt sich mit diesem Greifertyp ein Bauteil kaum rückstandsfrei handhaben. Durch die Entwicklung matrixverträglicher Bindersysteme wäre es jedoch möglich, stoffschlüssige Wirkprinzipien für Effektoren zu nutzen. Eine weitere Variante der adhäsiv wirkenden Effektoren ist der sogenannte Gefriergreifer. Ein Wirkmedium wird zwischen Greifer und Textil gefroren, was hohe Haltekräfte bewirkt [9]. Die eingesetzten Wirkmedien sind allerdings nicht prozessangepasst an die Nasstechnologie. Die Applikation von Wasser als Wirkmedium auf die zu verwendenden Faserhalbzeuge ist kritisch zu beurteilen. Zudem sind bei diesem Verfahren, bedingt durch den Prozessablauf, die Zykluszeiten länger als bei den mechanischen Greifertypen. HENSCHKE [10] hingegen verwendet das Prinzip des stoffschlüssigen Greifens, ohne das Wirkmedium zu gefrieren. Jedoch sind dann nur sehr geringe Kräfte übertragbar und das Verfahren damit auf das Greifen von kleinen Bauelementen beschränkt.

### 1.1.3 Anforderungen an die Handhabungsprozesse

Effektoren zur Handhabung textiler Bauteile werden bislang in der Automobilindustrie und Konfektionstechnik vermehrt eingesetzt. Ausgehend von den Forderungen, die hier gestellt werden, lassen sich technische Anforderungen für die Handhabung textiler Verstärkungshalbzeuge definieren.



Im Rahmen des Projektes ProTex wurde die Automatisierbarkeit der gesamten Prozesskette „Textil- und Nasstechnologie“ von der Garn- und Textilherstellung bis zur Aushärtung eines Bauteils untersucht. Hierfür hatten die Endanwender CTC (Airbus) und EADS-M Demonstratorbauteile definiert, an denen die gesamte Fertigungskette abgebildet werden sollte. Für die vom CTC angestrebte Fertigung eines Rumpfschalensegmentes sollte ein möglichst hoher Automatisierungsgrad für den gesamten Fertigungsprozess erreicht werden. Für das von EADS-M definierte Referenzbauteil sollten in erster Linie Untersuchungen zum Zuschnitt- und Preformhandling stattfinden. Aus den Anforderungen dieser Referenzbauteile und den allgemeinen Anforderungen (Qualitätsverbesserung, Reproduzierbarkeit, Automatisierbarkeit) ergaben sich die Anforderungen an die einzelnen Arbeitspakete:

**Handhabung textiler Halbzeuge:** In diesem Arbeitspaket wurde der Teilprozess von der Lagerung des Rohmaterials bis zur Ablage der Zuschnitte auf einer Legevorrichtung untersucht. Dies umfasste die Teilbereiche:

- Lagerung Rohmaterial,
- Zuführung zu einer Schneidemaschine (Cutter),
- Optimierung der Schneideparameter,
- Transport der Zuschnitte vom Cutter zu einer Lagervorrichtung,
- Einlagerung der Zuschnitte,
- Auslagerung der Zuschnitte und schließlich
- Ablage der Zuschnitte auf der Vorrichtung.

Die Beibehaltung der Werkstoffeigenschaften war die Hauptforderung an die Handhabungsprozesse. Durch die Einlagerung und den Transport durfte das Material nicht beschmutzt oder beschädigt werden. Speziell beim Handling der Zuschnitte war darauf zu achten, den Verzug der Lagen oder Ondulationen zu vermeiden.

Zur Handhabung von Rollenware waren Randbedingungen hinsichtlich Rollenmasse und geometrischen Abmessungen festgelegt worden: Es handelte sich dabei in erster Linie um Multiaxial-Gelege-Rollen mit einer maximalen Gesamtmasse von ca. 100 kg, einem Rollendurchmesser von ca. 800 mm und einer Rollenbreite von ca. 1400 mm.

Für das zu fertigende Rumpfschalensegment wurden Untersuchungen zum automatisierten Ablegen und Handling von Textilien und textilen Halbzeugen (Preforms) durchgeführt. Hierbei wurden insbesondere die Anforderungen an die Größe der zu fertigenden Bauteile berücksichtigt. Die Demonstrator-Rumpfschale wird Abmessungen von ca. 2,5 x 3,5m haben; es sollte jedoch schon bei den Untersuchungen berücksichtigt werden, dass zukünftige Schalenelemente Abmessungen bis zu ca. 5 x 15m haben werden (mögliche Skalierung der entwickelten Konfektionstechnik auf größere textile Halbzeuge).

Zu untersuchen ist bei der Schalenfertigung einerseits das Ablegen großer Textilien von der Rolle auf einer Positivvorrichtung. Hierbei ist sowohl das Abrollen von einzelnen 50 oder 100 Zoll breiten MAG-Bahnen denkbar als auch das Ablegen zuvor vernähter Multiaxialgelege zu großen „Teppichen“. Als zweites zu handhabendes Halbzeug sind Stringer (vorgeformte, trockene T-Profile) zu untersuchen. Des weiteren sollte die neu zu entwickelnde Fertigungstechnologie „Automatisierter Vakuumaufbau“ in ein Gesamtsystem integriert werden. Das Portalsystem des BIK wurde für wesentliche Vorarbeiten und Untersuchungen genutzt. Um im Rahmen von ProTex einen möglichst hohen Automatisierungsgrad zu erreichen, war es wünschenswert, möglichst viele Prozessschritte des „Automatisierten Vakuumaufbaus“ zu integrieren und einzelne Arbeitsschritte zu untersuchen:

- Ablegen von Vakuumfolie,
- Ablegen von Fließhilfen,
- Aufbringen der Siegelung.



Hierbei war eine enge Zusammenarbeit zwischen CTC und BIK erforderlich.

**Demonstrator:** In die Fertigung eines Demonstratorbauteils sollen möglichst viele der zuvor in den Teilprojekten erarbeiteten Ergebnisse einfließen. Hierfür sollte im CTC eine Fertigungszelle für ein Rumpfschalensegment aufgebaut werden. Die Rumpfschale hat Abmessungen von ca. 2,5m x 3,5m. Die Schale wird in Nasstechnologie gefertigt, wobei sowohl die Hautlagen als auch die Stringer aus trockenem MAG bestehen und in einem Schuss gemeinsam imprägniert und ausgehärtet werden. Bei der Fertigung der Schale sollte ein möglichst hoher Grad der Automatisierung erreicht werden, gleichzeitig sollten hier alle Projektpartner möglichst viele der zuvor erarbeiteten Ergebnisse einfließen lassen. Auch Ergebnisse aus den anderen Teilprojekten (PROSA, Prod.-form) sollen in die Demonstrator-Fertigungszelle einfließen (z.B. Online-Monitoring System, trennmittelfreie Formen).

Definition Demonstrator <b>Rumpfschale</b>		
Rumpfgroße	Single Aisle	
Krümmungsradius (außen)		1978mm
Länge der Schale		3400mm
Breite (abgewickelt)		2500mm
Material	Hautlagen	Biaxial 0°/90°
		Biaxial +/- 45°
		Triaxial +45°/0°/-45°
		Triaxial -45°/0°/+45°
Hautdicke	2,8-3,1mm	
Stringer		Preforms aus Multiaxialgelege

#### Zusammenfassend ergaben sich folgende Anforderungen:

- Hohe Zuverlässigkeit des Prozesses
- Erzeugen hinreichender Haltekräfte
- Hohe Flexibilität des Effektors hinsichtlich des zu handhabenden Fasermaterials
- Hohe Flexibilität des Effektors hinsichtlich der zu handhabenden Halbzeugs
- Kein oder geringes Beeinflussen der Faserorientierung im textilen Bauteil durch den Prozess
- Keine Beschädigung bzw. geringe Beeinflussung der Faseroberfläche
- Hohe Flexibilität hinsichtlich der zu greifenden Zuschnittgröße
- Hohe Flexibilität des Effektors hinsichtlich der zu greifenden Zuschnittgeometrie
- Geringe Zykluszeiten
- Robustheit gegenüber Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte, Luftverunreinigungen)

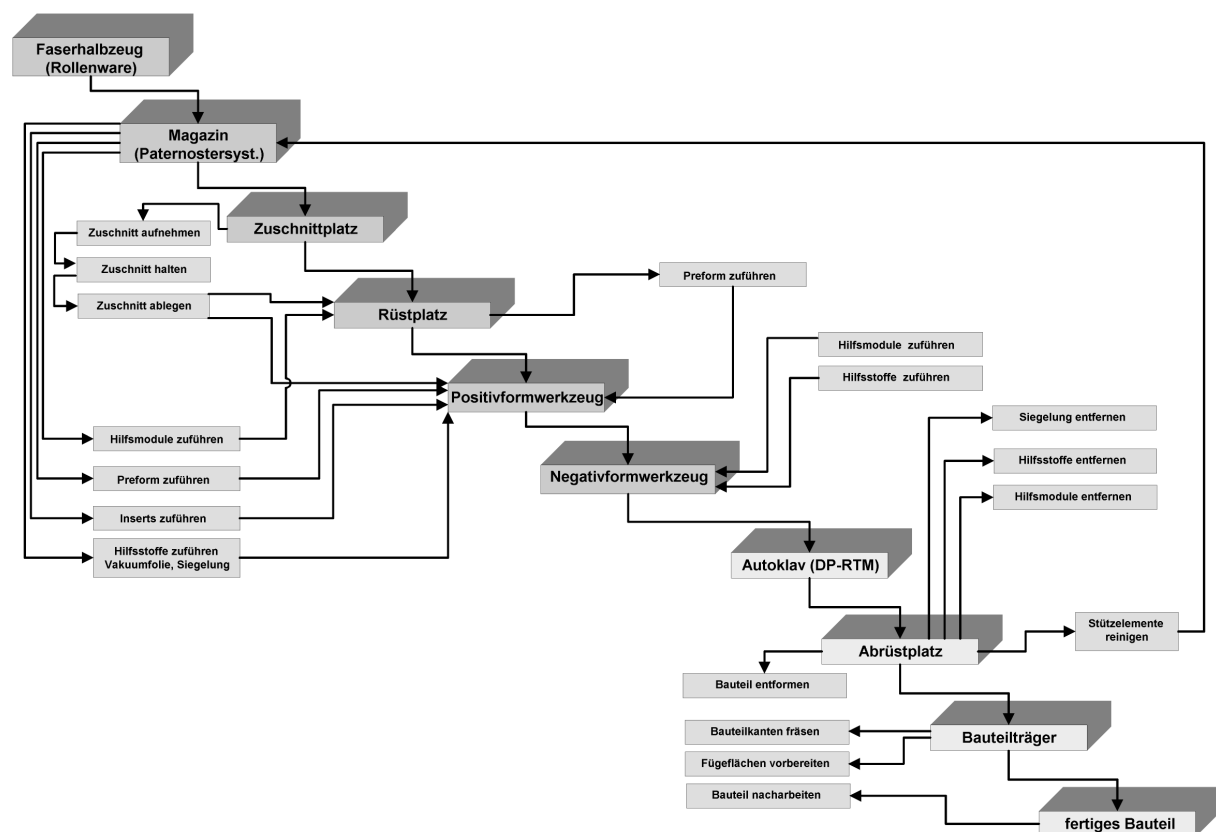
## 1.2 AP: Garn und Textil

Es wurde kein Beitrag zu diesem Arbeitspaket geleistet.

## 1.3 AP: Handhabung textiler Halbzeuge

### 1.3.1 Prozessketten des Zuschnitttransports

Grundlage der Konzeptentwicklung für die Handhabung textiler Halbzeuge ist die Vision einer weitgehend geschlossenen Prozesskette. Dabei sind Handhabungsprozesse zu entwickeln und zu untersuchen, die vom biegeschlaffen Faserhalbzeug eine dreidimensionale Geometrie aus technischen Textilien erzeugen. Ein möglicher, vereinfachter Gesamt-Prozessablauf ist in dem untenstehenden **Bild 3** dargestellt. Aus dem Gesamtprozessablauf heraus lassen sich Teilprozesse herauslösen, die über eine notwendige Handhabungstechnik die prozessverbindende Funktion in der Prozessverkettung erfüllen.



**Bild 3: Mögliche Grobprozesskette zur automatisierten Fertigung**

Die „Handhabung textiler Halbzeuge“ umfasst die Teilprozesse von der Lagerung des Rohmaterials bis zur Ablage der Zuschnitte auf einer konvex oder konkav gewölbten Legevorrichtung oder dem Formwerkzeug. Die dazugehörigen Teilbereiche können je nach Prozesskette die Lagerung des Rohmaterials, die Zuführung zu einer Schneidemaschine (Cutter), den Zuschnitt, den Transport der Zuschnitte vom Cutter zu einer Lagervorrichtung, die Einlagerung der Zuschnitte, die Auslagerung der Zuschnitte und schließlich die Ablage der Zuschnitte auf der Vorrichtung umfassen. Es sind dabei verschiedene Verfahrensvarianten erarbeitet worden, die nicht alle Teilschritte beinhalten müssen (**Tabelle 1**).



**Tabelle 1: Mögliche Handhabungs-Prozessketten für textile Halbzeuge**

Prozessvarianten		Va)	Vb)	Vc)	...
<b>Material</b>	Rollenware	x	x	x	
	flächig				x
	magazinierte Zuschnitte	x			
	Preforms				
<b>Handling-Aktionen</b>	Abrollen	x	x	x	
	Zuschnitt	x	x	x	x
	Aufrollen		x		
	Aufnahme	x			x
	Transport	x	x		x
	Ablage	x	x	x	x
	Preforming				
<b>Arbeitsstation</b>	Cutter	x			
	Legevorrichtung			x	
	Preforming				
	Formwerkzeug	x	x	x	x
	Magazin	x			

Die Automatisierung des Gesamtprozesses erfordert zunächst die Definition einer durchgängigen Fertigungsstrategie.

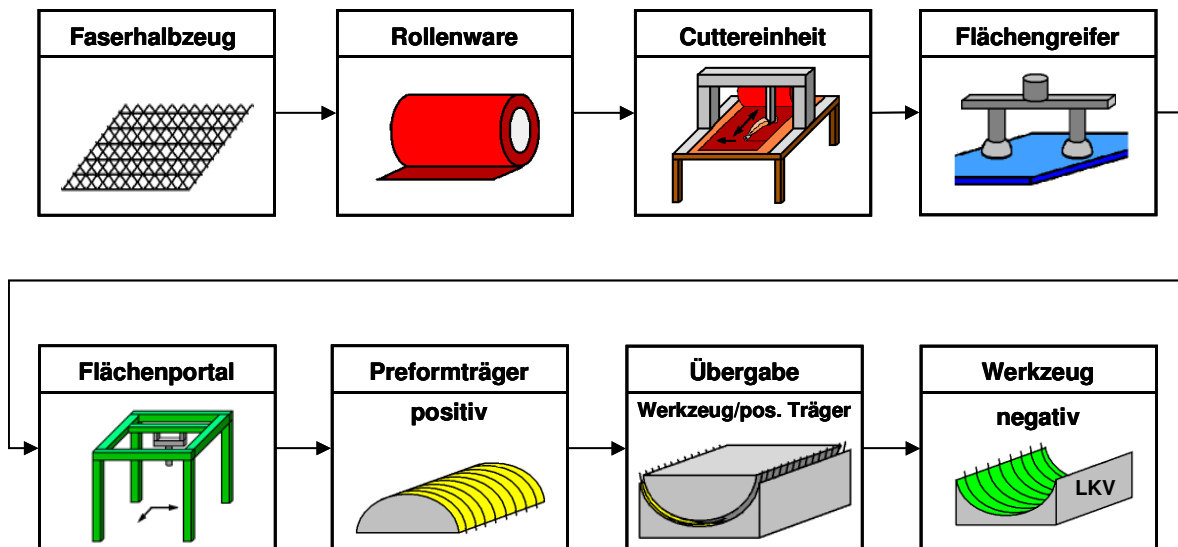
Durch eine Prozessanalyse sind drei wesentliche Varianten herausgearbeitet worden, die

- das direkte Ablegen von Rollenware,
- ein flächiges Greifen von Zuschnitten
- und das Aufwickeln von Zuschnitten betrachten.

Die Varianten 1 und 3 sind dabei mehrstufige Verfahren, wobei die Ablage von Rollenware direkt in ein Werkzeug als einstufiges Verfahren einzuordnen ist.

**Bild 4** zeigt eine mehrstufige Verfahrensvariante mit der Ablage von Rollenware auf einer Zuschneidenvorrichtung. Der Zuschnitt des Halbzeugs erfolgt in der Ebene auf einem Cuttertisch. Die ebenen Zuschnitte werden flächig durch einen Effektor, der in eine Verfahrenseinrichtung integriert ist, auf einem Werkzeug platziert. Es wird in dieser Variante der Positivaufbau des Bauteils inklusive des Vakuumaufbau auf einem Hilfsträger angestrebt. Ein Übergabeprozess verbringt den gesamten Aufbau an die Laminier- und Klebevorrichtung (LKV).

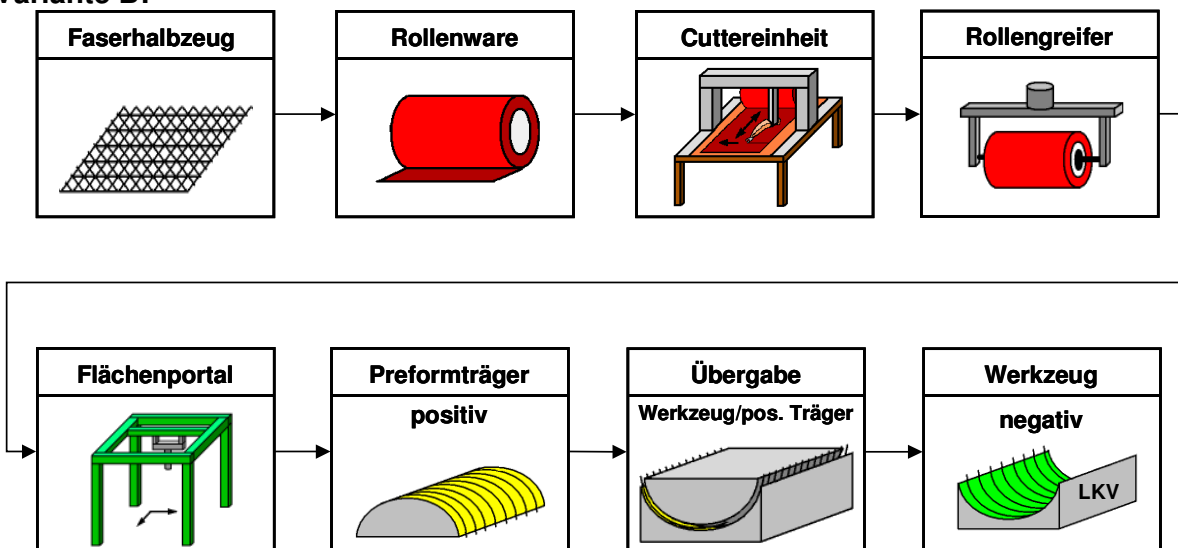
### Variante A:



**Bild 4: Flächiges Greifen von Zuschnitten vom Cutter und Ablage auf Vorrichtungen**

Im Vergleich zu Variante A wird in B der Zuschnitttransport durch Aufwickeln der Zuschnitte auf einer Leerrolle durchgeführt. Die zum Handhabungsvorgang vor- und nachgeschalteten Prozesse entsprechen der Variante A (**Bild 5**).

### Variante B:

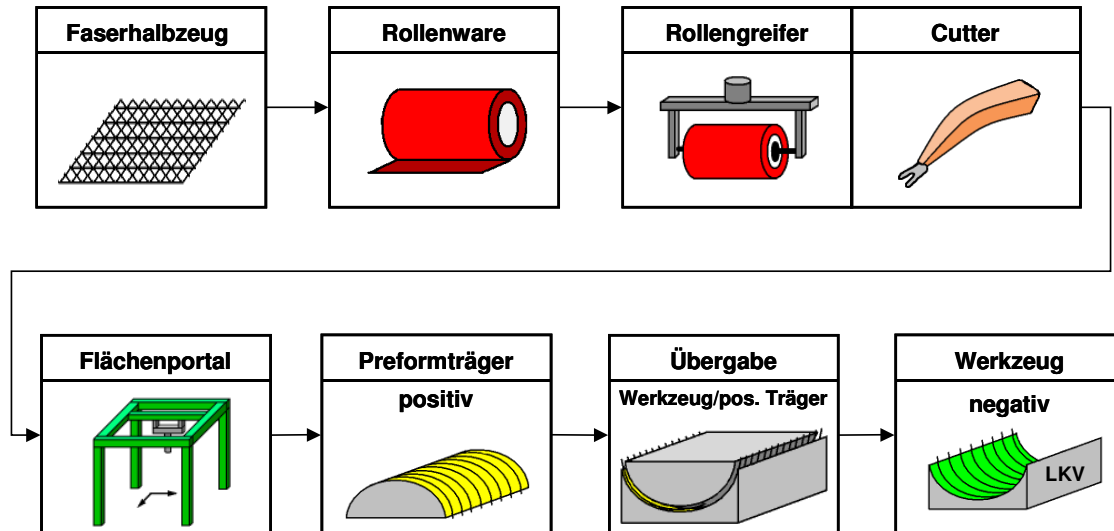


**Bild 5: Aufwickeln von Zuschnitten vom Cutter und Ablage auf Vorrichtungen**

Eine abgewandelter Prozess (**Bild 6**) für größere Bauteile ist das Fügen eines Gesamtzuschnitts aus mehreren Bahnen mittels Nähtechnik. Dieser Gesamtzuschnitt wird wiederum aufgewickelt und auf einer Legevorrichtung abgerollt. Der Endzuschnitt erfolgt schließlich auf der Vorrichtung. Dieser Prozess wird schon überwiegend manuell erfolgreich für ein Bauteil in der Luftfahrt eingesetzt. Dieses Bauteil bietet durch die konvex gewölbte Struktur und Größe die Möglichkeit, eine automatisierte Ablagevorrichtung zu installieren.

Diese ist für den jeweiligen Anwendungsfall speziell anzupassen, was zu einer geringeren Flexibilität der Betriebsmittel führt.

### Variante C:



**Bild 6: Einstufiges Verfahren zur Ablage auf Vorrichtungen**

Die aufgezeigten Prozesse lassen sich zusammenfassend bewerten:

**Tabelle 2: Variantenvergleich**

Variante	Vorteil	Nachteil
<b>A</b>	Flächiges Einleiten von Prozesskräften	Eingeschränkt in der Bauteilgröße
<b>B</b>	Uneingeschränkt in der Bauteilgröße, insbesondere Bauteillänge	Zusätzlicher Drapiervorgang durch das Aufwickeln der Zuschnitte
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Kein zusätzlicher Wickelvorgang</li> <li>○ Keine Einschränkung in der Bauteilgröße</li> </ul>	Komplexer Prozessablauf: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ beim Zuschnitt</li> <li>○ beim Verschnittmanagement</li> </ul>

Auf Grund dieser Ausgangslage wurde am BIK der Transport von Rollenware und das flächige Handhaben von Zuschnitten eingehender untersucht:

- für große Hautlagen durch Abwickeln von einer Transporthülse,
- für kleine bis mittlere Zuschnittgrößen durch flächigen oder teilflächigen Transport.

### 1.3.2 Entwicklung eines Handhabungskonzeptes zur großflächigen Ablage von Rollenware

#### Funktionsstrukturen zum Handhabungskonzept

Basierend auf der Informationsgrundlage einer geklärten Aufgabe in Form eines Anforderungskatalogs wurde eine Funktionsstruktur für einen Effektor für Bahnware/Rollenware erarbeitet. Die notwendigen Teilfunktionen der abstrahierten Struktur sind unter Einbeziehen der Bewertung in einem morphologischen Kasten konkretisiert worden. Dabei wurden jeder Teilfunktion mögliche Lösungsansätze zugeordnet, die durch entsprechende Kombination verschiedene Lösungen zur Erfüllung der Gesamtfunktion ergeben.



Dazu war die Problemstellung zu abstrahieren und abschließend neu zu formulieren. Es wurden hierbei die Forderungen, die die Funktionen und Bedingungen betreffen, berücksichtigt und zunächst besondere Wünsche vernachlässigt:

- 4 Innendurchmesser der Textilrolle (Trägerrolle) 300-400 mm
- 5 variabel einstellbar
- 6 Breite der Rolle max. 1400 mm
- 7 Breite variabel einstellbar
- 8 Gewicht max. 50 kg
- 9 Rolle angetrieben
- 10 schwenkbar um z-Achse
- 11 schwenkbar um x-Achse
- 12 Einbindung in ein Portal muss möglich sein
- 13 Ablegen in doppelt gekrümmten Formen muss möglich sein
- 14 Abgelegte Bahnen müssen in der Form gut anliegen
- 15 Abtrennen der abgelegten Bahnen von der Rolle muss möglich sein

Erweiterung und Umsetzung der quantitativen Angaben in qualitative:

- unterschiedliche Textilrollen einspannbar
- keine von außen wirkenden (nicht vom Greifer ausgehenden) Kräfte zum Abrollen
- genaues Ablegen unterschiedlich großer Matten in verschiedene Geometrien
- Einbindung in verschiedene „Anlagen“

#### **Problemformulierung:**

1. Unterschiedlich große und schwere Textilrollen sollen automatisiert in Formen abgerollt werden
2. Ergebnis: verschiedenen Geometrien des Fertigungsmittels (z.B. doppelt gekrümmt) sollen durch Bahnstücke genau „ausgekleidet“ werden.

#### **Gesamtfunktion aus der Problemformulierung:**

Technische Textilien, aufgewickelt in einer großflächigen Bahn, als Abschnitte in Formen mit unterschiedlicher Geometrie ablegen.

Die oben formulierte Gesamtfunktion wird im Folgenden durch ein Blockschaltbild dargestellt. Daraus ableitend ist diese Aufstellung in eine erste grobe Funktionsstruktur transferiert und variiert worden. Diese erarbeitete Struktur wird in den nächsten Schritten detailliert und somit in eine feine Funktionsstruktur gewandelt. Es lassen sich nun in dem aufbereiteten Blockschaltbild gezielt Änderungen vornehmen, wie z. B. eine Funktionsintegration, um Varianten zu erzeugen.

Hauptumsatzart: technisches Textil bzw. CF – Halbzeug

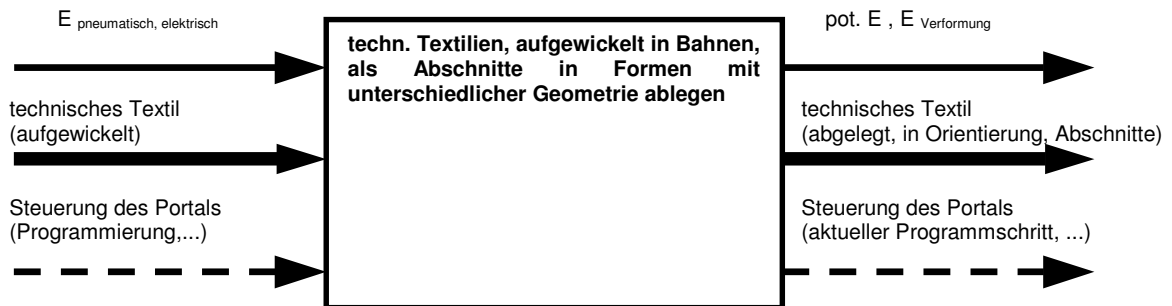
#### **Eingangsgrößen:**

Stoff: technisches Textil bzw. CF – Halbzeug  
Energie: elektrische Energie, pneumatische Energie  
Signale: Steuerung des Portals (Programmierung)

#### **Ausgangsgrößen:**

Stoff: Textilabschnitte, Lage (und Form) der Textilabschnitte  
Energie: Potentielle Energie, Verformungsenergie  
Signale: Steuerung des Portals (aktueller Programmschritt)

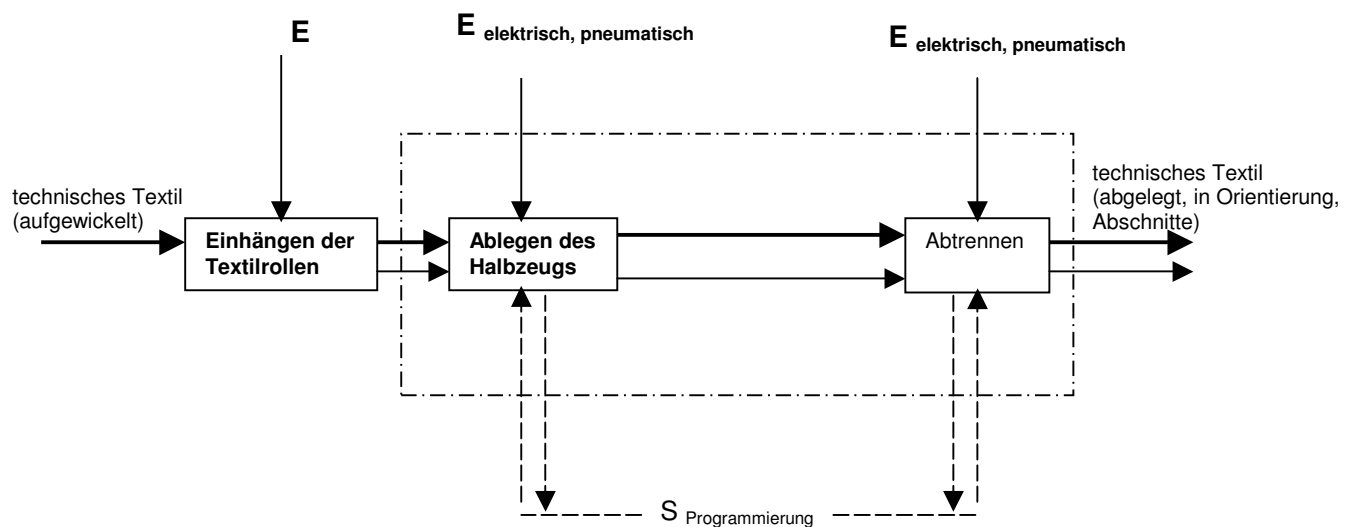
## Gesamtfunktion:



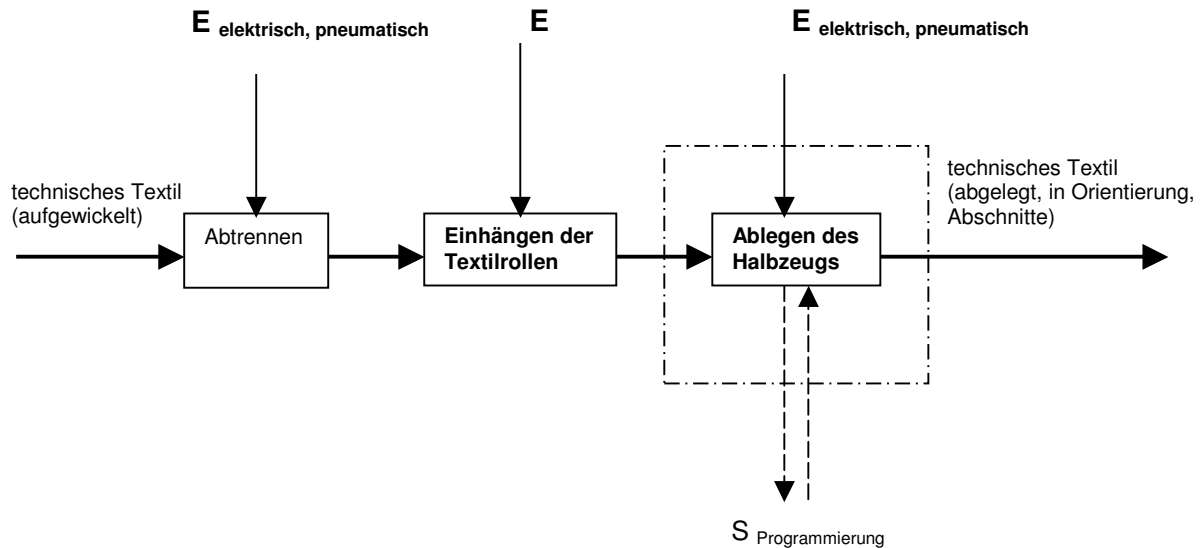
## Liste der Hauptfunktion:

- Einhängen der Textilrollen
- Programmieren
- Ablegen des Halbzeugs
- Abtrennen

## Grobe Funktionsstruktur:



## Variation:



## Liste der Teilfunktionen:

### Einhängen der Textilrolle:

- Verändern der Breite der Aufnahme für die Halbzeugrollen
- Veränderndes Durchmessers der Aufnahme für die Halbzeugrollen
- Einhängen der Rolle
- Fixieren der Stellungen
- Eventuell „Einfädeln“

### Programmieren:

- Programm schreiben
- an Steuerung schicken
- Programm starten

### Ablegen des Halbzeugs:

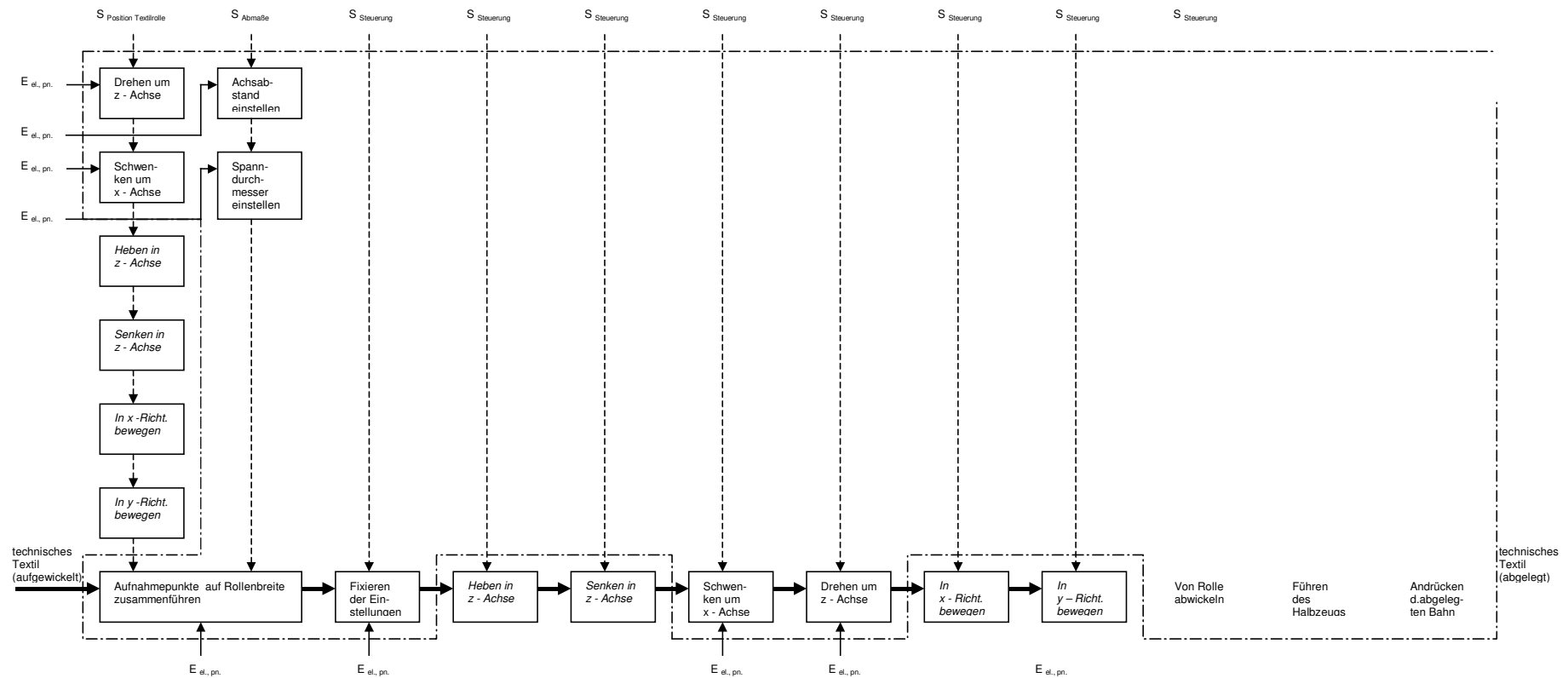
- z (Hoch) – Achse drehen
- x (Quer) – Achse schwenken
- Antreiben der Rolle
- Verfahren des Portals
- Andrücken der abgelegten Bahnen

### Abtrennen:

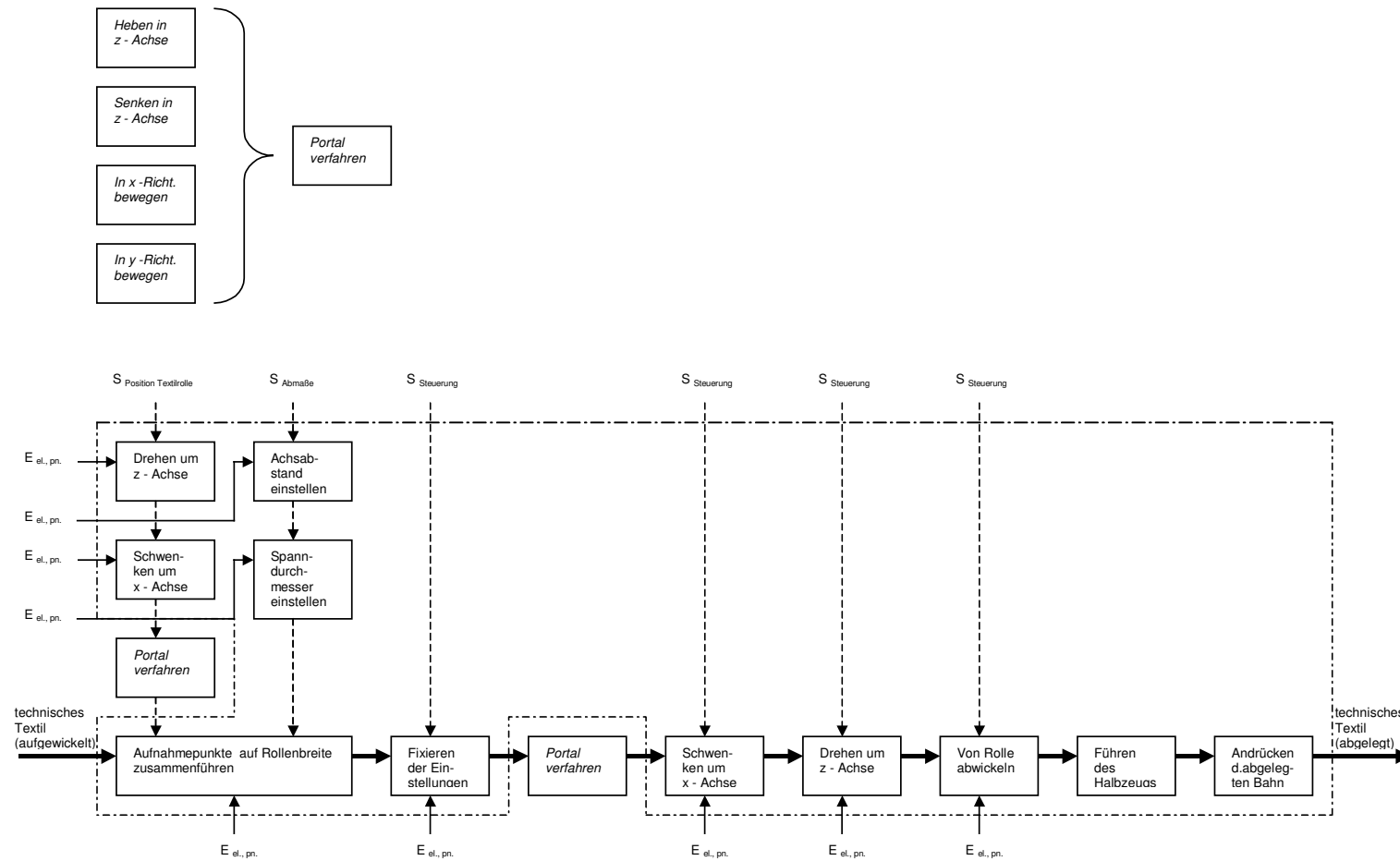
- Schneidvorrichtung antreiben
- Schneidvorrichtung zum Wirkort führen

## Feine Funktionsstrukturen:

Variante 1a:

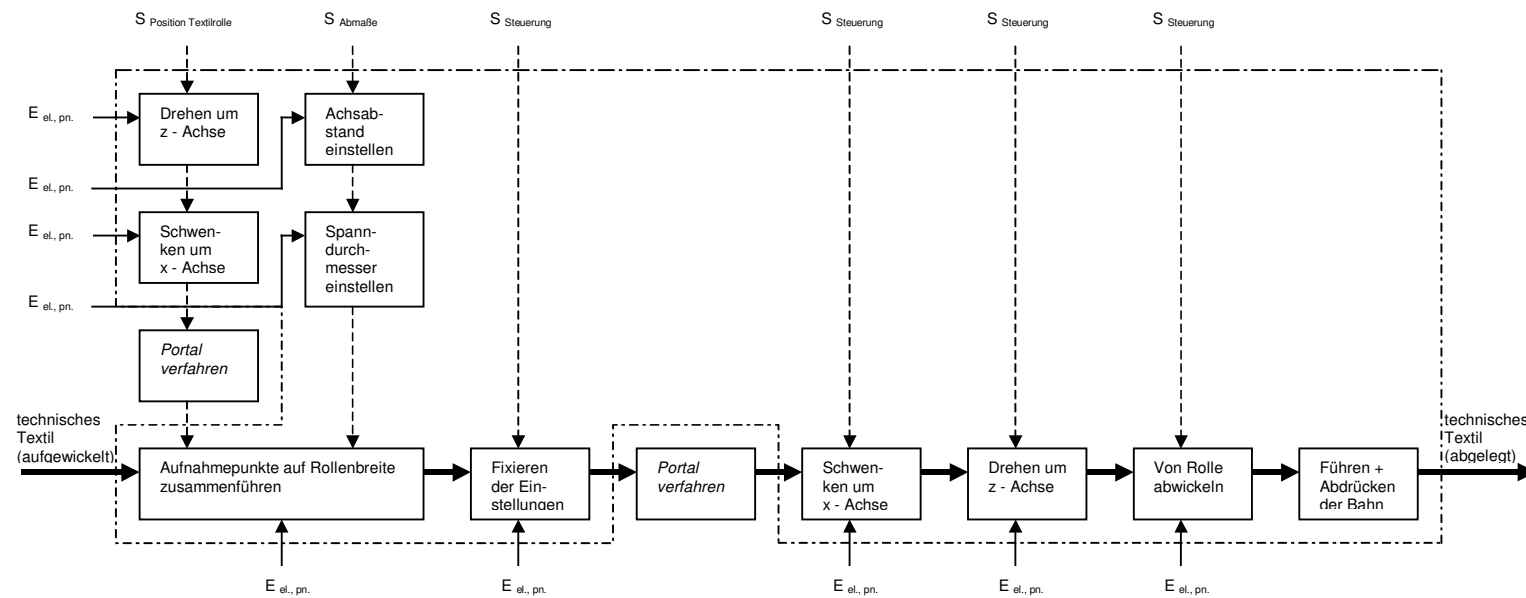
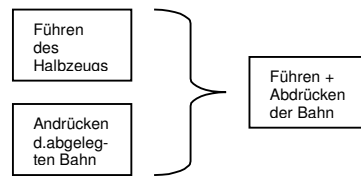


Variante 1b: Zusammenfassen der außerhalb der Systemgrenze liegenden Blöcke



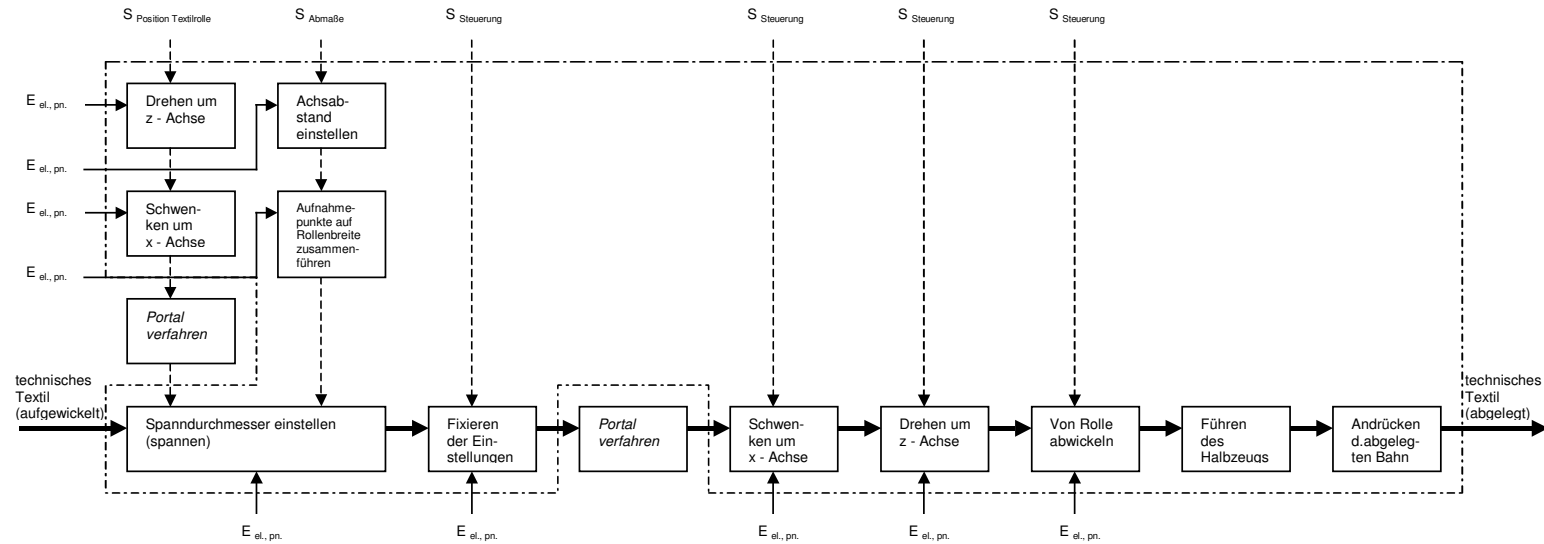
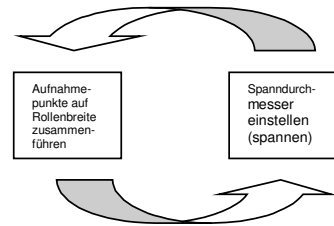


Variante 2: Funktionsintegration



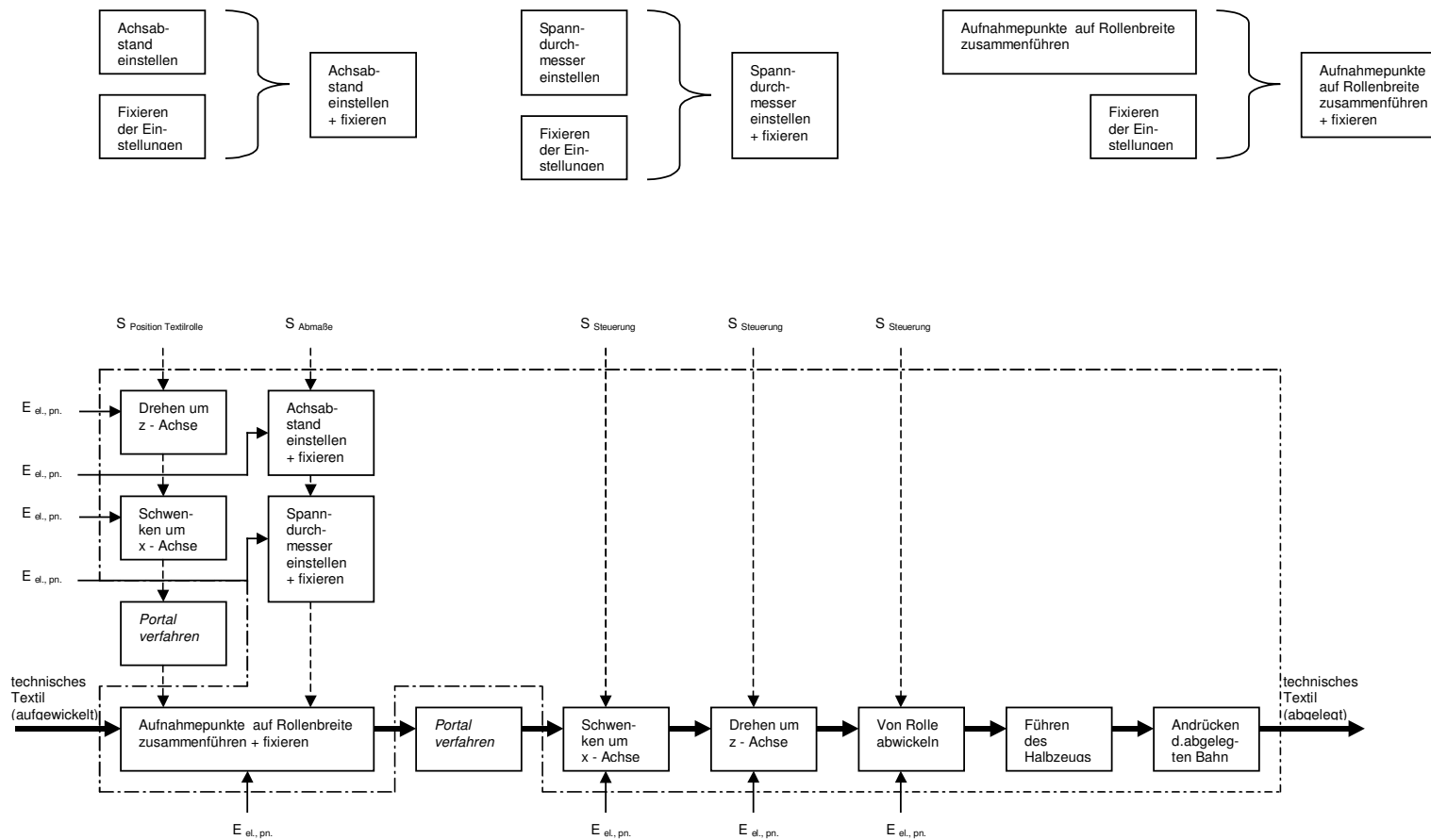


Variante 3: Ändern der Reihenfolgen:





Variante 4: Funktionsintegration





**Konzeptbegleitende Bewertung:**

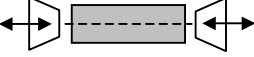
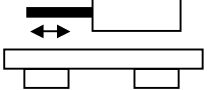
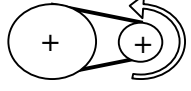
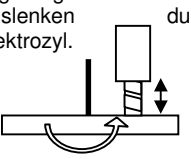
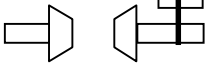
Varianten	Teilfunktionen													Bewertung					
	Drehen um z - Achse	Schwenken um x - Achse	Portal verfahren	Achsabstand einstellen	Spanndurchmesser einstellen	Aufnahmepunkte auf Rollenbreite zusammenf.	Fixieren der Einstellungen	Portal verfahren	Schwenken um x - Achse	Drehen um z - Achse	Von Rolle abwickeln	Führen des Halbzeugs	Andrücken d. abgelegten Bahn						
V 1b																			
V 2																			
V 3																			
V 4				Achsabstand einstellen + fixieren															
				Spanndurchmesser einstellen + fixieren															
				Aufnahmepkte auf Rollenbreite zus.führen + fixieren															
V 5				Achsabstand einstellen + fixieren															
				Spanndurchmesser einstellen + fixieren															
				Aufnahmepkte auf Rollenbreite zus.führen + fixieren															
	<b>Bewertung</b>																		
	+ : bevorzugt / : gleich (keine Bew. mögl.) oder nicht bevorzugt													$\Sigma +$	$\frac{\Sigma +}{\Sigma TF}$	Rang			
V 1b	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	+	+	+	3	0,23	3.		
V 2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	+	/		1	0,08	4.		
V 3	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	+	+	+	3	0,23	3.		
V 4	/	/	/	+	+	+	/	/	/	/	/	+	+	+	6	0,5	1.		
V 5	/	/	/	+	+	+	/	/	/	/	/	/	+	+	4	0,36	2.		

### Lösungen für Teilfunktionen

Die aufgezeigten Teilfunktionen der abstrahierten Struktur sind unter Einbeziehen der Bewertung in einem morphologischen Kasten konkretisiert worden. Dabei werden jeder Teilfunktion mögliche Lösungsansätze zugeordnet, die durch entsprechende Kombination verschiedene Lösungen zur Erfüllung der Gesamtfunktion ergeben (**Bild 7**).

Lösungen		Teilfunktionen					
		A	B	C	D	E	F
1	Aufnahmepunkte für Halbzeuggrollen zusammenführen	Spannelemente auf Achse verschieben 	Rollenlaufschuhe auf Schienen + Zahnstange 	Umlaufschuhe auf Schienen + Pneum.-Zylinder 	Umlaufschuhe auf Schienen + Spindel 	Achsen verschieben 	Teleskoparm 
		Wirkfläche konisch, Spannen durch verändern der Breite 	Dreipunktinnen-greifer 				
3	Achsabstand einstellen	Teleskoparm 	Pneumatik-Zylinder 	angetriebenes Zahnrad + Zahnstange 	Spindel 	Achsabstand so groß wählen, dass max. Rollendurchmesser eingespannt werden kann. (Achsabstand nicht variabel)	
		Schwenkantrieb, pneumatisch 	Schwenkantrieb, elektrisch 	Riemen- oder Kettenantrieb 	Kurbeltrieb + pneumatik Zylinder 		
5	Schwenken um x (Quer) - Achse	gebogene Zahnstange 	Schwenkantrieb, pneumatisch/ elektrisch 	Lagerung mittig, Auslenkung durch Nocken/ Feder 	Lagerung mittig, rechts-/linksseitiges Auslenken, pneum. 	Lagerung mittig, Auslenken elektrisch (Getriebe) 	rechts-/ linksseitiges Anheben/ Absenken 
		Antreiben der Wellen über Getriebe/ Zahnräder 	Antreiben der Wellen über Riemen/ Kette 	Antreiben der Spannelemente über Getriebe/ Zahnräder 	Antreiben der Spannelemente über Riemen/ Kette 	Textilbahn abziehen 	Planetengetriebe innerhalb des Spannelements 
7	Textil in die Form führen	Textilbahn durch Spalt 	Textilbahn über Schiene 	Textilbahn durch Rollen/ Räder führen 			
		Andrücken der abgelegten Bahn 					

**Bild 7: Morphologischer Kasten zur Ablage von Bahnware**

Teilfunktionen		Wirkprinzip
1	Außendurchmesser Einstellen	<p><b>E</b></p> <p>Achsabstand so groß wählen, dass max. Rollendurchmesser eingespannt werden kann. (Achsabstand nicht variabel)</p>
2	Spanndurchmesser einstellen	<p><b>A</b></p> <p>Wirfläche konisch, Spannen durch verändern der Breite</p> 
3	Aufnahmepunkte auf Halbzeugrollenbreite zusammenführen	<p><b>C</b></p> <p>Umlaufschuhe auf Schienen+Pneumatikzylinder</p> 
4	Drehen um z (Hoch)- Achse	<p><b>C</b></p> <p>Riemen- Kettenantrieb oder</p> 
5	Schwenken um x (Quer)- Achse	<p><b>D</b></p> <p>Lagerung Auslenken Elektrozahl. mittig, durch</p> 
6	Abwickeln des Textils	<p><b>B</b></p> <p>Antreiben der Wellen über Riemen/Kette</p> 

Die Bewertung erfolgte anhand einer Bewertungsliste nach Pahl/Beitz, in welcher die folgenden Bewertungskriterien vorgegeben sind:

- Verträglichkeit mit der Aufgabe und/oder untereinander (Kriterium A)
- Erfüllung der Forderungen aus der Anforderungsliste (Kriterium B)
- Erkennbare Realisierungsmöglichkeit hinsichtlich Wirkungshöhe, Größe, notwendiger Anordnung usw. (Kriterium C)
- Zulässiger Aufwand (Kriterium D)
- Im eigenen Bereich leicht realisierbar (Kriterium E)
- Bereits existierende Lösung (Zukaufteile) (Kriterium F)

Dabei sind die Kriterien in Ausscheidungskriterien (A-D) und Kriterien deren Lösung bevorzugt wird (E und F) unterteilt. Die ungeeigneten Lösungen werden nach den genannten Kriterien (A-D) in der beschriebenen Reihenfolge ausgeschieden. Bei den übriggebliebenen möglichen Lösungen werden die besseren bevorzugt (Kriterien E und F). Eine Begründung für das Ausscheiden von Lösungen für die jeweilige Teilfunktion ist in der Bewertungsliste angegeben.

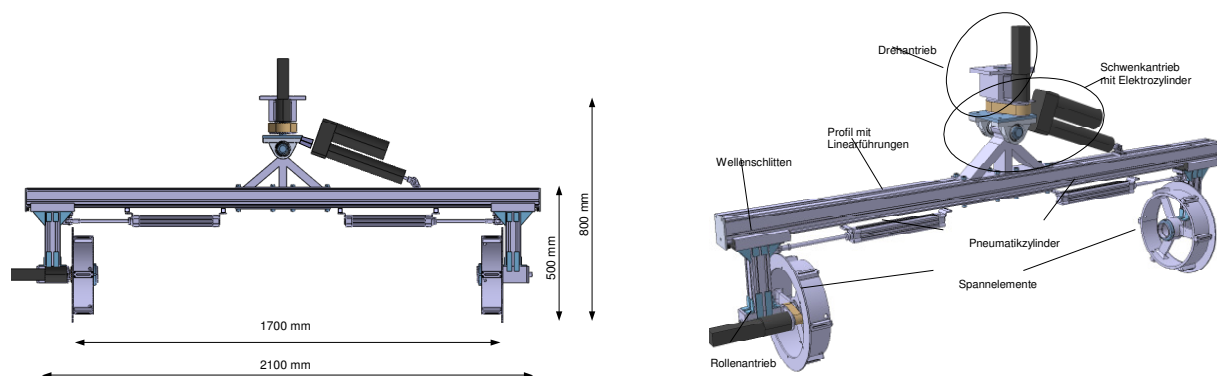
Anhand der durchgeführten Bewertung haben sich die in **Bild 8** dargestellten Wirkprinzipien für die Teilfunktionen als die am besten geeignetsten herausgestellt. Diese ergaben die prinzipielle Lösung auf welcher der nachfolgende Entwurf basiert.

**Bild 8: Ausgewählte Prinzipien**

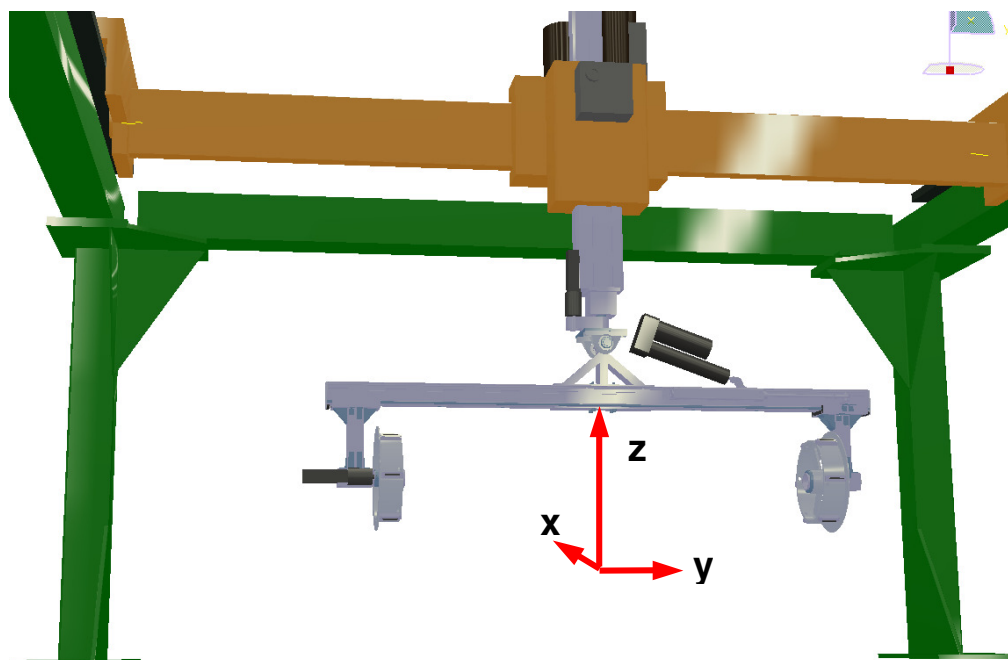
## Entwurf und Umsetzung des Rollengreifers

Basierend auf den möglichen Konzepten erfolgte hierzu die Ausarbeitung eines Lösungsansatzes. Dieser ist zu einem ersten Entwurf mit folgenden Funktionen detailliert worden:

- Achsloses Spannen der Trägerrollen, auf denen die Bahnware gespeichert ist
- Materialrolle ist angetrieben
- Drehen um die Z-Achse/Hochachse des Effektors zum Schwenken der Materialrolle
- Drehen um die X-Achse des Effektors zum Kippen der Materialrolle

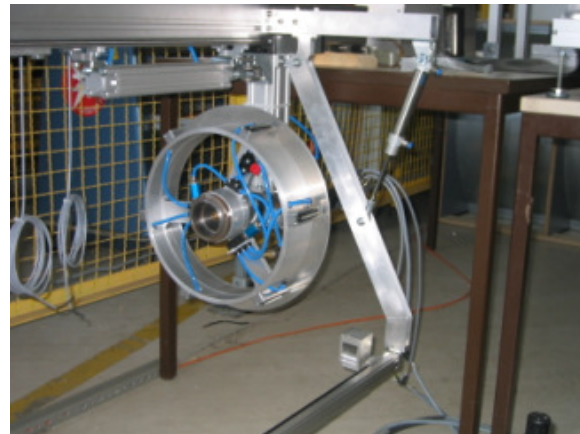
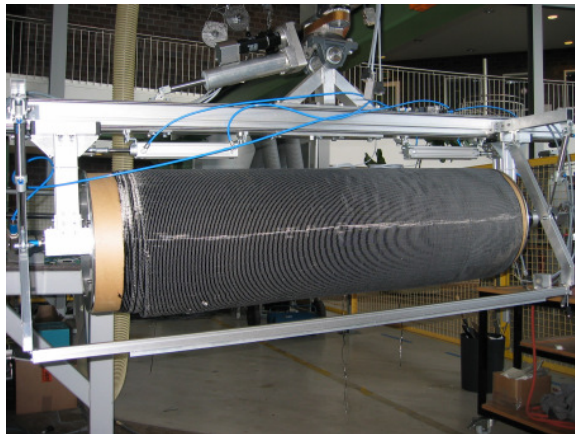
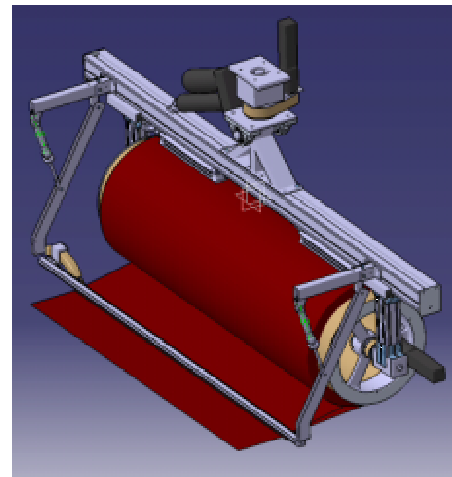
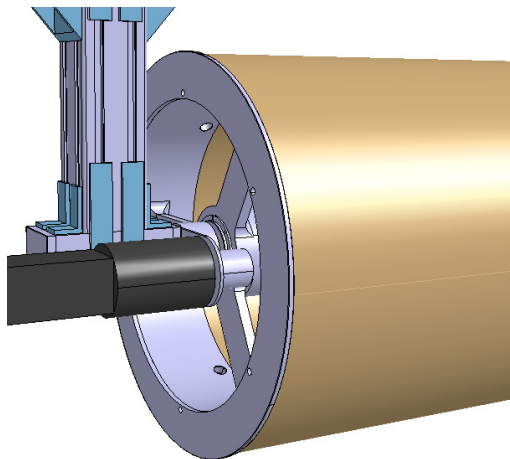


**Bild 9: Prototyp des Rollengreifers**



**Bild 10: In die Fertigungszelle integrierter Prototyp des Rollengreifers**

Mit dem entwickelten und umgesetzten Effektor ist es möglich, Halbzeuge aus technischen Textilien automatisiert von einer Rolle abzuwickeln und in ein Werkzeug abzulegen (**Bild 11**). Der Greifer kann Halbzeugrollen mit unterschiedlicher Breite und unterschiedlichen Außendurchmessern aufnehmen. Durch Schwenken des Greifers um die X-Achse und Rotieren um die Z-Achse wird die Position der Halbzeugrolle beim Ablegen an eine gekrümmte Oberflächenkontur des Ablagemoduls angepasst. Das Verfahren des Greifers entlang dieser Kontur wird von einer geeigneten Kinematik (Portalroboter) ausgeführt. Erste Funktionstest wurden durchgeführt. Ein weiteres Versuchsprogramm ist begonnen worden. Es wird im Arbeitspaket „Demonstrator“ fortgeführt.

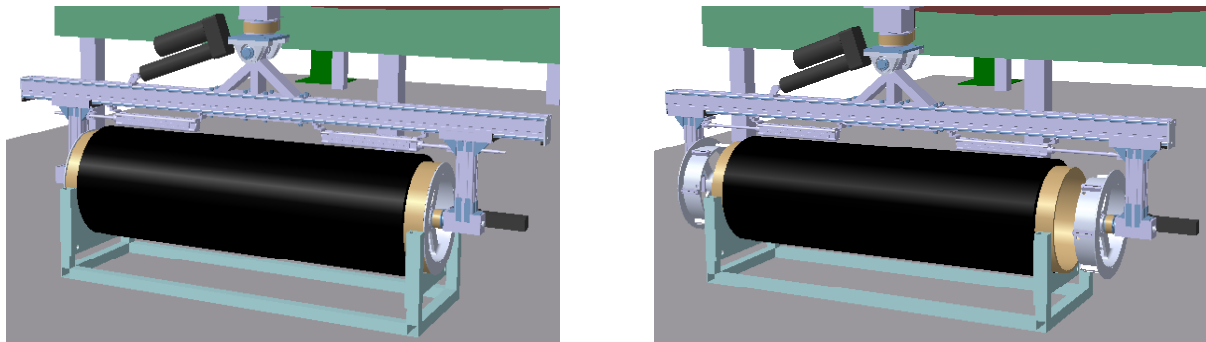


**Bild 11: Virtueller und realer Prototyp des Rollengreifers**

### **Funktion: Spannen der Halbzeugrollen**

Die Halbzeugrollen werden in einem Rollenständer bereitgestellt. Aus diesem Rollenständer können diese mit Hilfe des Greifers herausgehoben werden. Dazu wird der Greifer vom Portal so positioniert, dass die Achse der Halbzeugrolle und die Spannelementachsen auf einer Linie liegen. Durch den Aufbau des Rollenständers können die Spannelemente nach der Positionierung vollständig bis zum Anschlag in die Halbzeugrolle einfahren (**Bild 12**). Anschließend wird die Halbzeugrolle durch die pneumatischen Spannbacken auf den Spannelementen fixiert und die Rolle wird mit Hilfe des Portals aus dem Halter gehoben.

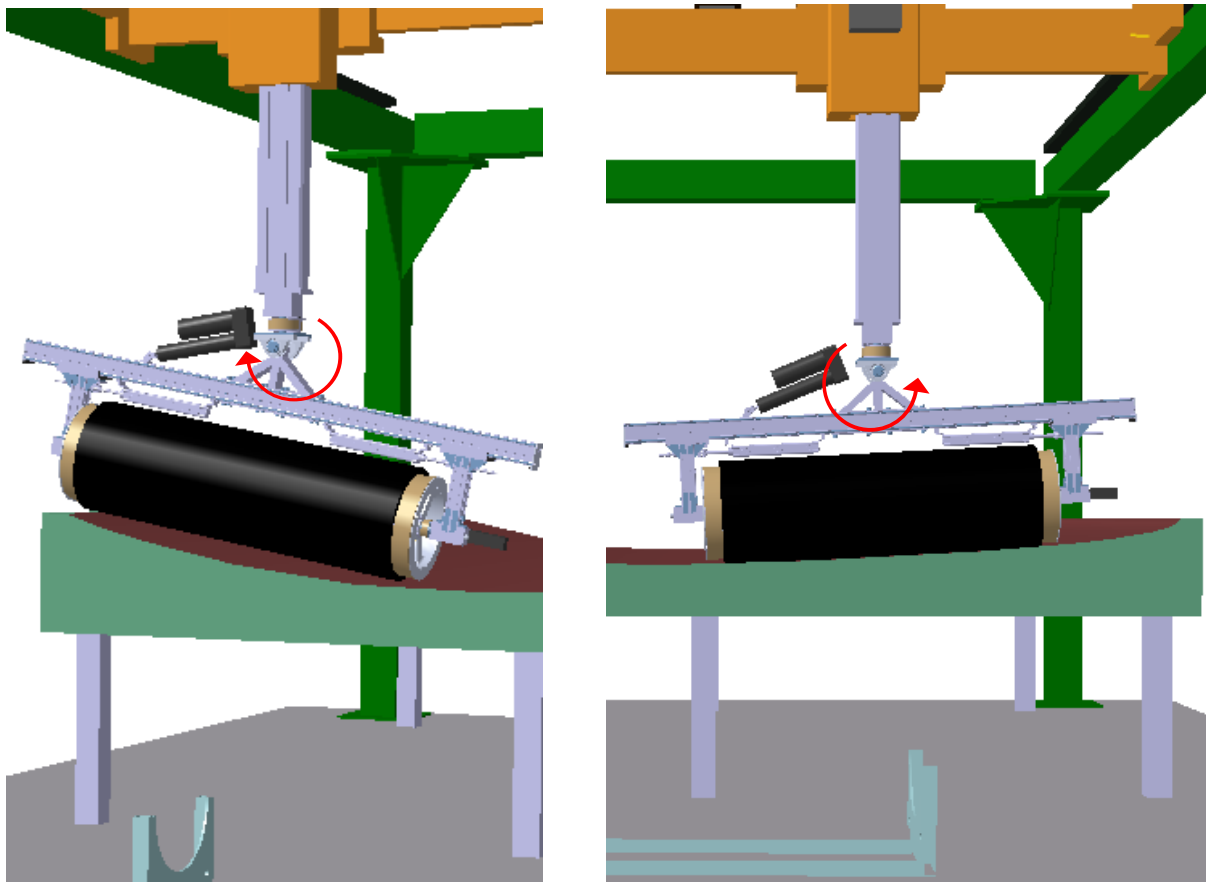




**Bild 12: Rollenaufnahme**

**Funktion: Schwenken der Halbzeugrollen**

Durch das Schwenken des Greifers und somit der eingespannten Halbzeugrolle kann diese geneigten oder näherungsweise gekrümmten Oberflächen angepasst werden (**Bild 13**). Dadurch ist das Ablegen von Textilbahnen auch auf solchen Oberflächenkonturen möglich.







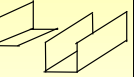
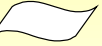


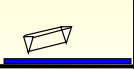
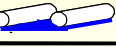


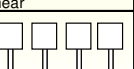
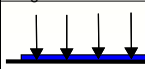
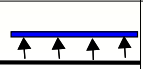
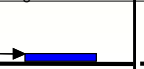



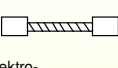



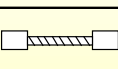

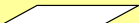





**Bild 13: Schwenken des Greifers**

### 1.3.3 Entwicklung eines Handhabungskonzeptes zur teilflächigen Ablage von Zuschnitten

#### Übersicht

Ausgehend von Teilfunktionen ergaben sich mögliche Lösungen, die zur Übersicht in folgendem **Bild 14** dargestellt sind.

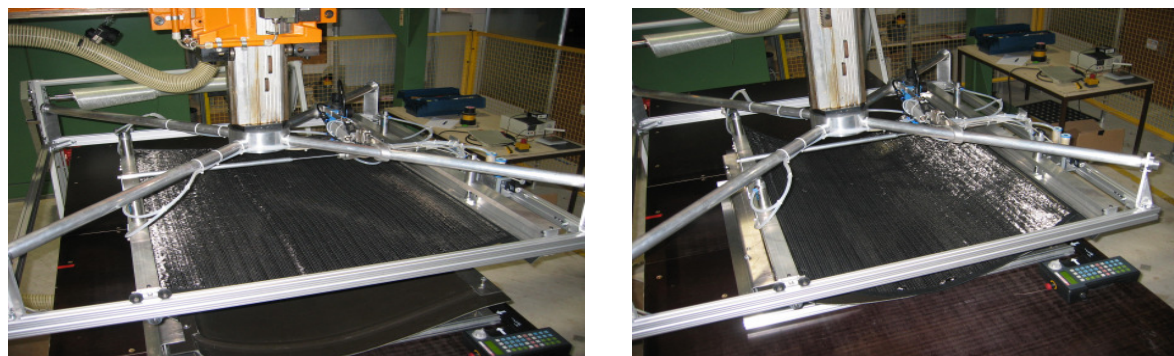
Teilfunktion	Lösungsprinzip			
	1	2	3	4
Rahmen-Kinematik	 rechteckiger Rahmen	 Rechteckgreifer	 Parallelogramm	 Zangengreifer
Rahmen Material	Aluminium	Stahl	Verbundwerkstoff	Kunststoff
Rahmen Halbzeug	 Rundrohr	 Vierkantrrohr	 Profile	 Blech
Aufnahme Fläche	 punktuell	 flächig	 linear	 aufwickeln
Aufnahme Ort	 mittig	 Randzone	 flächig verteilt	
Anäherung	 von oben	 von unten	 seitlich	 beidseitig
Aufnahme-Energie	mechanisch	pneumatisch	adhäsiv	elektrostatisch
Sichern/ Klemmen - Energie	 pneumatisch	 hydraulisch	 elektro-mechanisch	 mechanisch federbelastet
Sichern/ Klemmen	direkt	Umlenkung		
Spannen-Antrieb	 pneumatisch	 hydraulisch	 elektro-mechanisch	 mechanisch federbelastet
Transport	Knickarmroboter auf Schienen	Knickarmroboter auf Rädern	Knickarmroboter fest installiert	Portalroboter
Positionieren in der Form	durch Spannsystem	durch Knickarmroboter	durch Portalroboter	manuell
Ablegen in Form	überlappen	auf Stoß	überkreuzt	
Halten in der Form	einfache Ablage	vernähen	adhäsiv	klemmen
Art der Form	 eben/ rechteckig	 beliebig	 konkav	 konvex

**Bild 14: Morphologischer Kasten zur Ablage von Zuschnitten**

Ein möglicher Lösungspfad Textilien mit einem kraftschlüssigen Verfahren aufzunehmen, zu transportieren und abzulegen führte zu dem Entwurf des sogenannten „Spanngreifers“. Das textile Bauteil wird hierbei teilflächig in der Randzone fixiert.

## Umsetzung des Spanngreifers

**Bild 15** zeigt das umgesetzte Konzept des „Spanngreifers“. Der Kraftschluss wird bei diesem Prinzip über linienförmige Klemmstellen realisiert. Die erforderlichen Klemmkräfte werden durch Pneumatikzylinder erzeugt. Die Reibkraft ist abhängig vom Druck in den Zylindern und der Reibkennwerte des Materials auf der gummierten Klemmleiste. Damit die Druckbelastung auf das Textil möglichst gering gehalten wird, ist ein niedriger pneumatischer Druck notwendig. Dies setzt aber hohe Reibkennwerte voraus.



**Bild 15: In die Fertigungszelle integrierter Prototyp des „Spanngreifers“**

Der „Spanngreifer“ ist für das Handling von Zuschnitten entwickelt worden. Durch das Eigengewicht des Textils hängt der Zuschnitt durch, was zu Beschädigungen der textilen Struktur führen kann. Die Zuschnitte werden in den Klemmleisten aufgenommen. Dann werden die Klemmleisten auseinandergedfahren, um den Durchhang des Textils durch eine definierte Vorspannung zu minimieren. Die definierte Vorspannung ist abhängig von mechanischen Eigenschaften des textilen Aufbaus. Die Vorspannung darf gerade nur die Belastungen in der textilen Struktur erzeugen, bei der keine Verschiebungen oder Verzerrungen in dem Gelege entstehen. Die Vorspannung wurde zunächst über den Verfahrensweg eines pneumatisch angetriebenen Zylinders erzeugt.

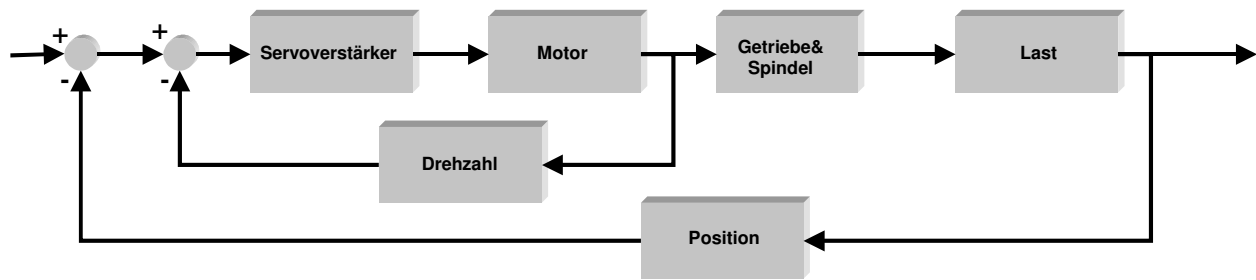
Der pneumatische Antrieb ist durch eine servoelektrische Achse ersetzt worden, die sich aus dem Zusammenwirken von Servomotor und Gewindespindel ergibt. Die elektromechanische Variante erlaubte eine verbesserte Einbindung der Achsregelung in die Gesamtsteuerung der Fertigungszelle. Die Zusatzachsen der jeweiligen Greifer werden über eine eigene Echtzeit-Regelungskarte angesprochen, um verschiedene Algorithmen und eine Erweiterung der Sensorik einfach und schnell einbinden zu können.

Die Regelung des Spanngreifers beschränkte sich zunächst auf eine konservative Regelung von Geschwindigkeit und Position der Servoachse. Sowohl die Geschwindigkeits- als auch die Positionsermittlung erfolgte über den Encoder des Servomotors. Die Positionsregelung wurde der Geschwindigkeitsregelung überlagert.

Zur Regelung wurde jeweils ein PI-Regler eingesetzt. Die Auslegung der Regler erfolgte nach dem Ziegler-Nichols-Verfahren.

Die Auslegung der Regler erfolgt auf Basis der Übertragungsfunktion, die sich analytisch ermitteln lässt.

Die Überlagerung von Geschwindigkeits- und Positionsregelung erlaubt es, exakte Geschwindigkeitsprofile und Positionen anzufahren, die für die Handhabung der Zuschnitte notwendig sind. Die Kommunikation zwischen Fertigungszelle und Regelungskarte erfolgt über geeignete Schnittstellen.



**Bild 16: Überlagerte Positions- und Geschwindigkeitsregelung**

Als Ansatz zur Herleitung der Differentialgleichung bzw. zur Auslegung der Regler an Hand des Systemübertragungsverhaltens ist die Leistungsbilanz des Systems Elektromotor gewählt.

Dabei stellt die elektrische Leistung  $P_{el}$  die Eingangsgröße des Systems dar. Die Ausgangsgröße ist die mechanische Leistung  $P_{mech}$ .

Um Leistungsverluste bei der Umsetzung der elektrischen Energie in die mechanische Energie zu berücksichtigen (Reibungsverluste, elektrischer Widerstand) wird die Joulsche Verlustleistung der Wicklung  $P_J$  berücksichtigt.

Die Summe aus Joulscher Verlustleistung der Wicklung und mechanischer Leistung entspricht dabei der in das System eingespeisten elektrischen Leistung:

$$P_{el} = P_J + P_{mech}$$

$$U \cdot I = R \cdot I^2 + M \cdot \omega$$

Die Drehzahlkonstante  $k_n$  und die Drehmomentkonstante  $k_M$  sind als Motorkenndaten seitens des Herstellers angegeben.

$$k_M = \frac{M}{I}$$

$$k_n = \frac{n}{U_{ind}}$$

$k_M$  [mNm · A<sup>-1</sup>] = Drehmomentkonstante

$k_n$  [min<sup>-1</sup> · V<sup>-1</sup>] = Drehzahlkonstante

M [mNm] = Drehmoment

n [min<sup>-1</sup>] = Drehzahl

I [A] = Stromstärke

$U_{ind}$  [V] = induzierte Spannung

Dies führt zu:

$$U = \frac{1}{k_n \cdot k_M} \cdot k_M \cdot n + R \cdot \frac{1}{k_M} \cdot M$$

$$U = \frac{1}{k_n} \cdot n + R \cdot \frac{1}{k_M} \cdot M$$

Über das Moment M lässt sich der Einfluss der Massenträgheit des Systems über die Beziehung

$$M = J_{System} \cdot \frac{d\omega}{dt} = J_{System} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{dn}{dt}$$

$J_{System}$  [Kg · m<sup>2</sup>] = Trägheitsmoment des Systems

einbringen. Man erhält die Differentialgleichung des Systems im Zeitbereich.

$$U(t) = \frac{1}{k_n} \cdot n(t) + R \cdot \frac{1}{k_M} \cdot J_{\text{System}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{dn(t)}{dt}$$

Die **Übertragungsfunktion** ist definiert als

$$F(s) = \frac{\text{Systemausgang}}{\text{Systemeingang}} = \frac{n(s)}{U(s)}$$

Durch Umformen und einführen verschiedener Motorkonstanten ergibt sich für die Motor-Getriebe-Kombination inklusive Last folgende Gleichung als Übertragungsfunktion des Systems.

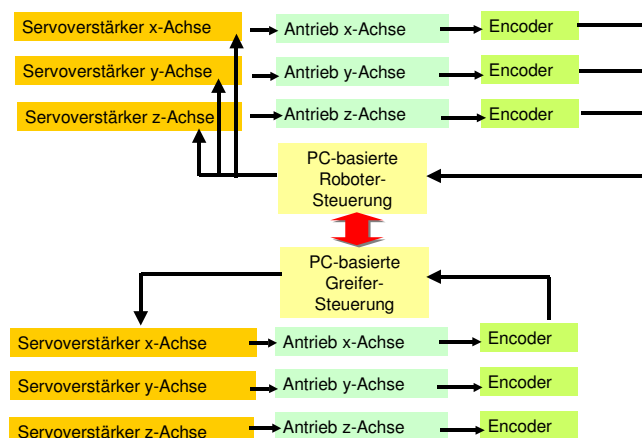
$$F(s) = \frac{n(s)}{U(s)} = \frac{K_1}{(1 + T_1 \cdot s)}$$

Daran kann man ablesen, dass sich zwischen Spannung und Drehzahl ein  $PT_1$ -Systemverhalten ergibt. Somit kann die Beziehung zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen durch eine Differentialgleichung erster Ordnung beschrieben werden. Diese Gleichung kann mit entsprechenden Softwaretools zur Simulation des Systems genutzt werden. Damit erfolgt dann auch die Auslegung der Regelung.

### 1.3.4 Steuerungstechnische Einbindung der Greifer in vorhandene Robotik

Parallel zur physikalischen Umsetzung des Entwurfs in einen Prototypen wurde die regelungstechnische Einbindung des Rollengreifers entwickelt und mittels Hardware-in-the-Loop-Simulationen (HIL-Simulation) getestet. Um die geplante Greiftechnik autark vom eingesetzten Robotertyp bzw. -steuerung einsetzen zu können, wurde die Steuerung und Regelung über eine eigene Regelungskarte implementiert. Die Regelungskarte bietet zudem den Vorteil, auch komplexere Reglerstrukturen und Nichtlinearitäten im Prozess abbilden zu können. Außerdem unterstützt die Reglerkarte die Echtzeitfähigkeit des Systems, was für mögliche Online-Überwachungen und -Korrekturen von Ablagefehlern wichtig ist.

Der Rollengreifer besitzt drei zusätzliche Antriebsachsen, die es ermöglichen, den Greifer

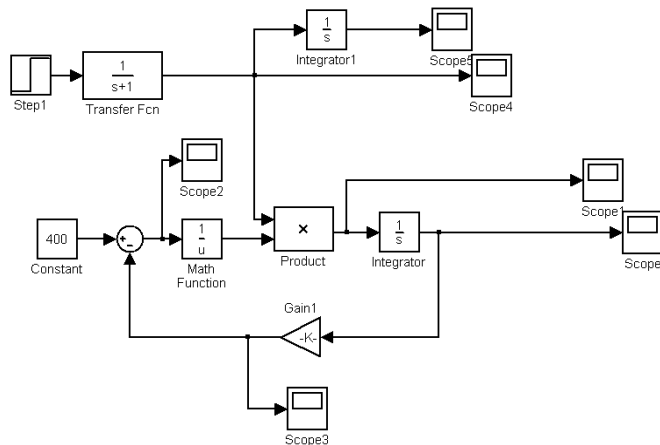


um die Hochachse zu drehen, um die X-Achse zu kippen und die Materialrolle anzutreiben. Die drei Antriebsachsen werden jeweils einzeln mittels Gleichstromservomotoren angetrieben.

Die Handhabungsaktionen des Greifers werden über binäre Signale der Robotersteuerung ausgelöst, die Überwachung der Greiferaktionen erfolgt jedoch über die Regelungskarte. Die Drehzahl bzw. der zurückgelegte Weg wird mittels Encoder aufgenommen.

**Bild 17: Parallele Anbindung des Greifers in die Steuerungsstruktur des Roboters**

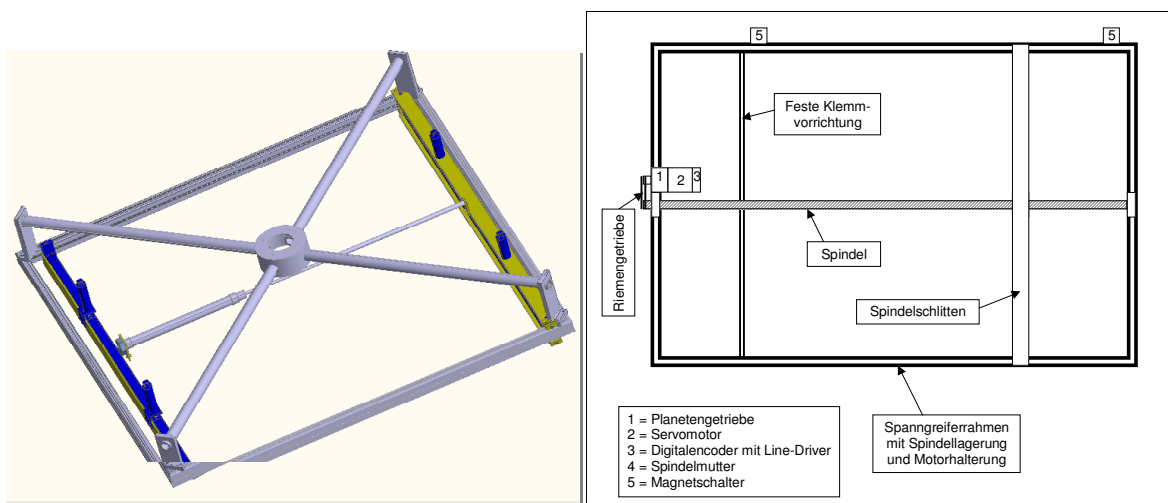
Die geregelte Abwicklung des Textilgeleges ist eine komplexe Regelungsaufgabe. Die Abwickeldrehzahl muss synchronisiert zur Vorschubgeschwindigkeit der Portalachsen ablaufen. Aufgrund des abnehmenden Durchmessers des aufgewickelten Textils über den Weg ergibt sich eine nichtlineare Kennlinie für die Motordrehzahl. Die Regelung dieser nichtlinearen



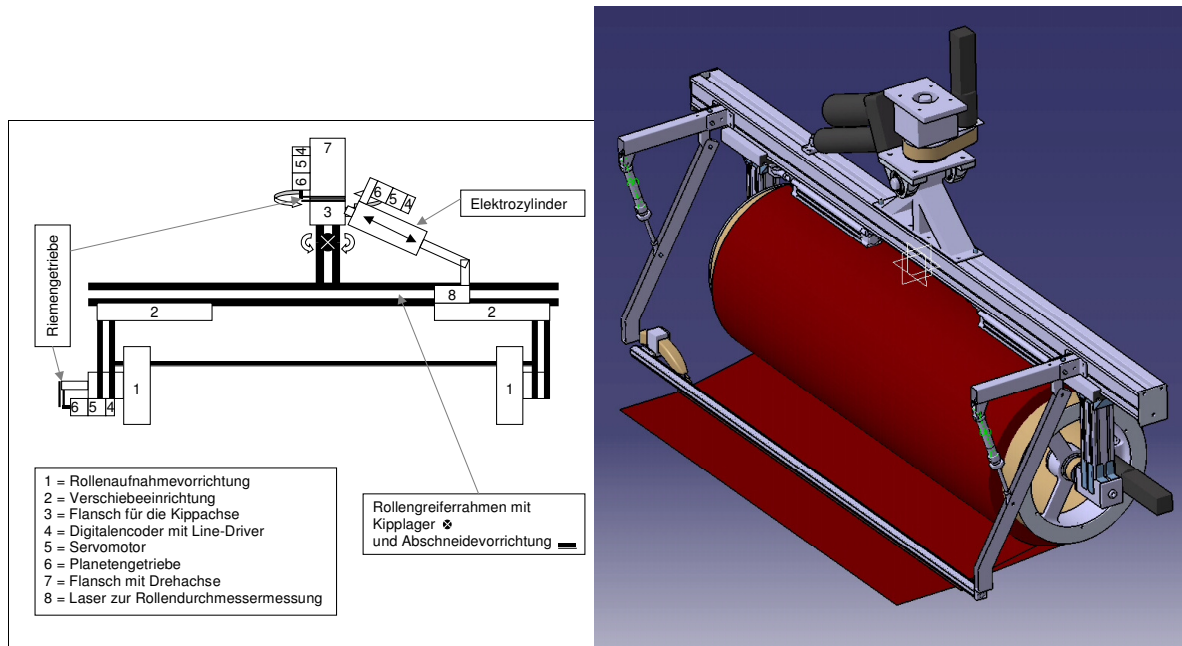
Kennlinie wird über eine blockorientierte Software zur Simulation und Programmierung von Reglerstrukturen implementiert. Die vorläufige Struktur zur Simulation des Abwickelvorgangs ist in der nächsten Abbildung dargestellt. Zunächst wurde die Abwicklung simuliert. Darauf aufbauend wird in Abhängigkeit der Vorschubgeschwindigkeiten der Portalanlage ein Regelungskonzept implementiert, um den Gleichlauf zwischen Abwicklung und Vorschub im Prozess zu erreichen.

**Bild 18: Blockschaltbild zur Simulation der Nichtlinearitäten während der Abwickelphase**

Um mit diesen Effektoren den geplanten Demonstrator textiltechnisch vorbereiten zu können, ist eine Einbindung der Effektoren in eine Fertigungszelle notwendig. Am BIK erfolgt dies am Beispiel einer Portalanlage mit drei Linearachsen. Da die Effektoren Zusatzachsen und -funktionen aufweisen, die nicht komplett mit der zur Verfügung stehenden Steuerung des Portals angesteuert werden können, ist eine zusätzliche Reglerkarte implementiert worden. Damit sind auch schon die angesprochenen HIL-Simulationen durchgeführt worden, mit denen z.B. die Regler für die einzelnen Achsen der Effektoren ausgelegt wurden. Im Fokus der Implementierung stehen der Spann- und der Rollengreifer.

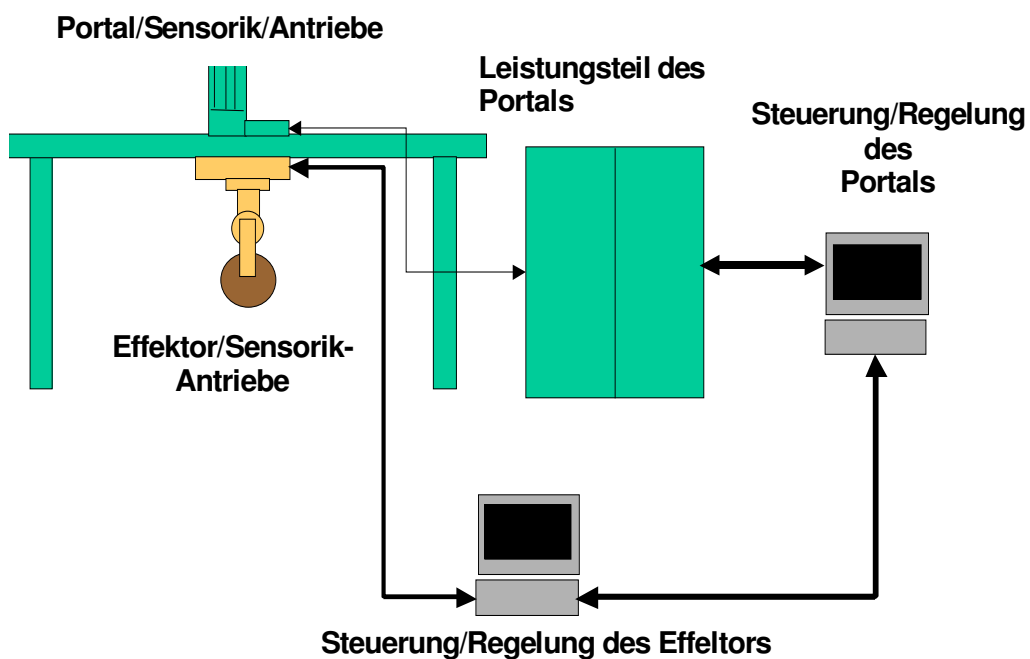


**Bild 19: Aufbau und Baugruppen des Spanngreifers**



**Bild 20: Aufbau und Baugruppen des Rollengreifers**

Die oben angesprochene Reglerkarte ist der Kern eines Steuerschranks für die Ansteuerung der Effektoren. Die Effektoren müssen in ihrer Funktion mit der übergeordneten Portalsteuerung synchronisiert werden. Dies geschieht über die in **Bild 21** skizzierte Kommunikation zwischen Roboter, Effektorsteuerung und Effektor.



**Bild 21: Datenkommunikation in der Fertigungszelle**

### 1.3.5 Untersuchungen zum Spangreifer

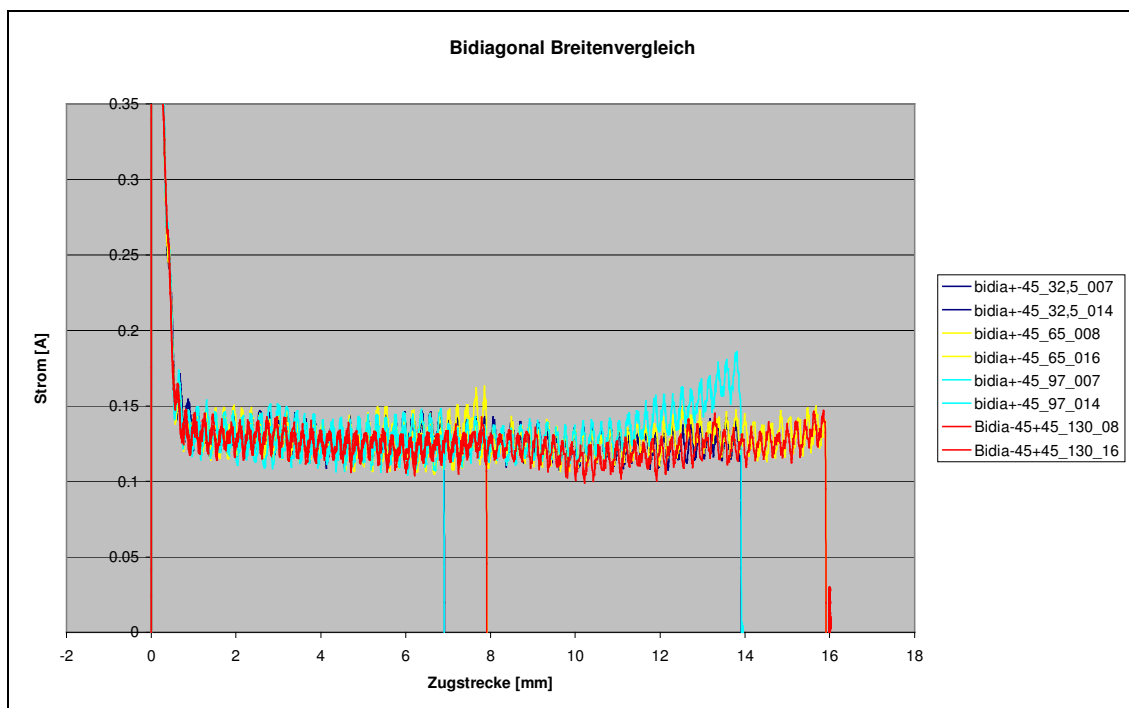
Wichtige Fragestellungen der Untersuchungen sind mögliche Schädigungen der Textilstruktur durch das Vorspannen des Materials zur Minimierung des Materialdurchhangs und die Ablagegenauigkeit der Textilizuschnitte.

Zunächst wurde der Versuchsplan zur Ermittlung der Einflüsse des Vorspannens auf die textile Struktur untersucht. Es wurden verschiedene Längen/Breitenverhältnisse der Textilizuschnitte eingespannt, um den Einfluss der Kraffteinleitung in das Textil zu untersuchen.

**Tabelle 3: Versuchsplan zur Untersuchung des Längen-/Breitenverhältnisses auf die Kraffteinleitung und daraus resultierende Strukturbeschädigungen**

Material	Länge	Breite 1	Breite 2	Breite 3	Breite 4
Bidirec 0/90	1000	1300	950	630	315
Quadraxial 90/-45/0/+45	1000	1300	950	630	315
Triaxial +45/0/-45	1000	1300	950	630	315
Bidiagonal +45/-45	1000	1300	950	630	315
Glasgewebe 160 g/m <sup>2</sup>	1000	1300			

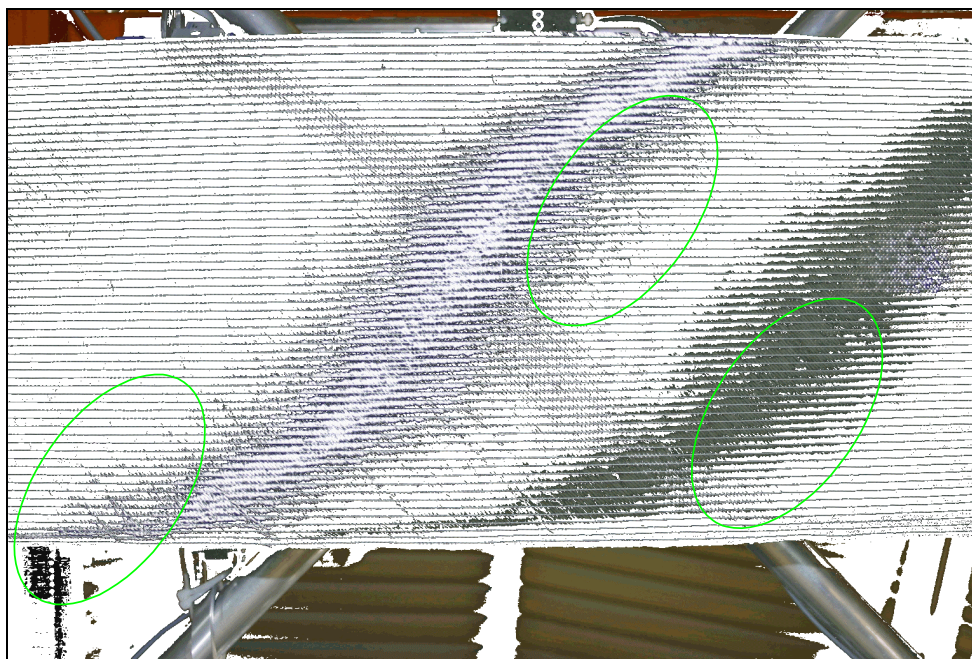
Als Maß für die Vorspannung ist der Strombedarf des Servomotors in Abhängigkeit des Weges aufgezeichnet worden. Die folgenden Bilder zeigen exemplarisch die Auswertung für ein sehr empfindliches Material (+/-45°-Faserrichtung) und ein Material mit stärker ausgeprägtem Stromanstieg (0°/90°-Faserrichtung) in Abhängigkeit vom Längen-/Breitenverhältnis.



**Bild 22: Vergleich des Stromanstiegs für verschiedene Breiten-/Längenverhältnisse**

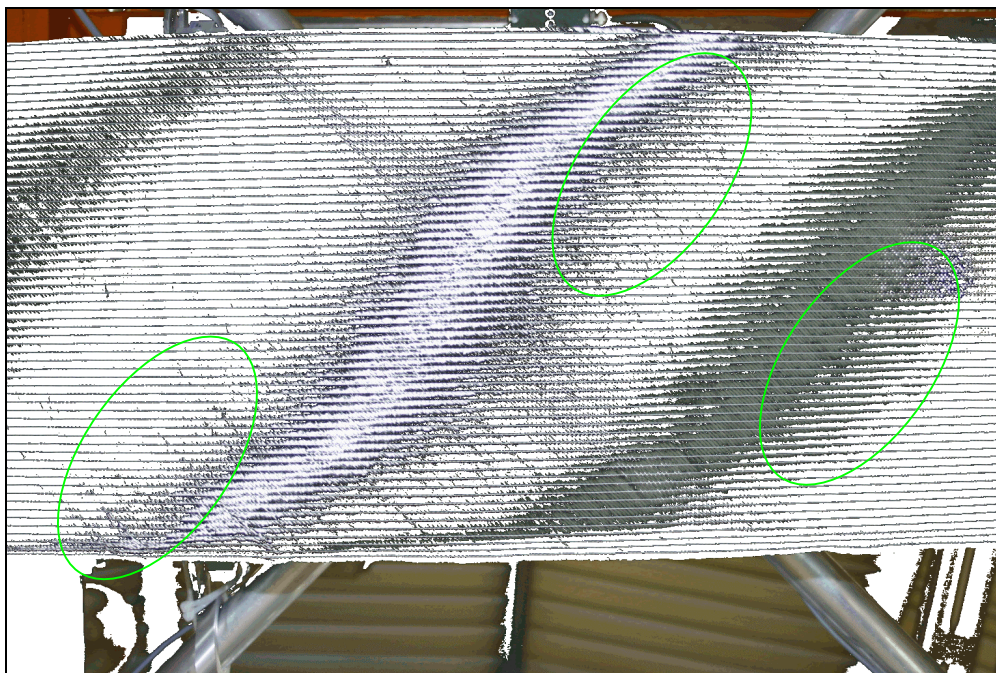
Das +/-45°-Material zeigt einen geringen Anstieg des Strombedarfs. Die dazu entsprechenden Fotoaufnahmen zeigen die Beschädigungen des Textils im Vergleich zum ungespannten Textil.





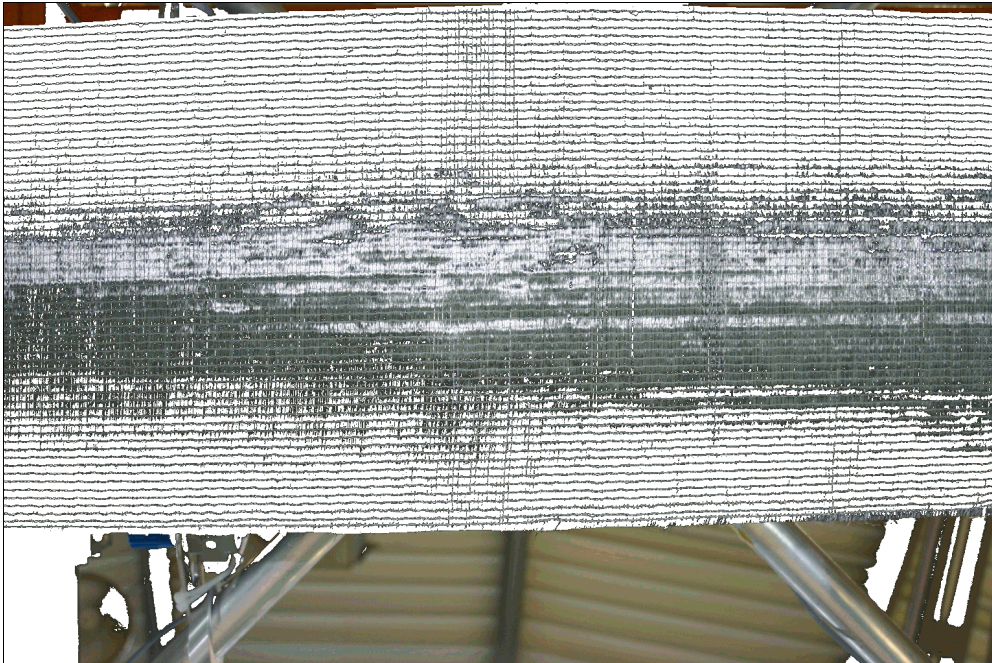
**Bild 23: Bidiagonal; Breite 315 mm; Zugstrecke von 7 mm**

In den **Bilder 23 und 24** sieht man an Hand des empfindlichen Bidiagonalgeleges die Strukturveränderungen anhand der stärkeren Rotfärbung der im **Bild 23** grün eingekreisten Bereiche. Das Bild im Hintergrund ist das Gelege ohne Vorspannung, bei dem die Nähte Rot eingefärbt wurden. Bild 23 zeigt das um 7 mm verstreckte Gelege, **Bild 24** das Gelege nach einer Zugstrecke von 14 mm.

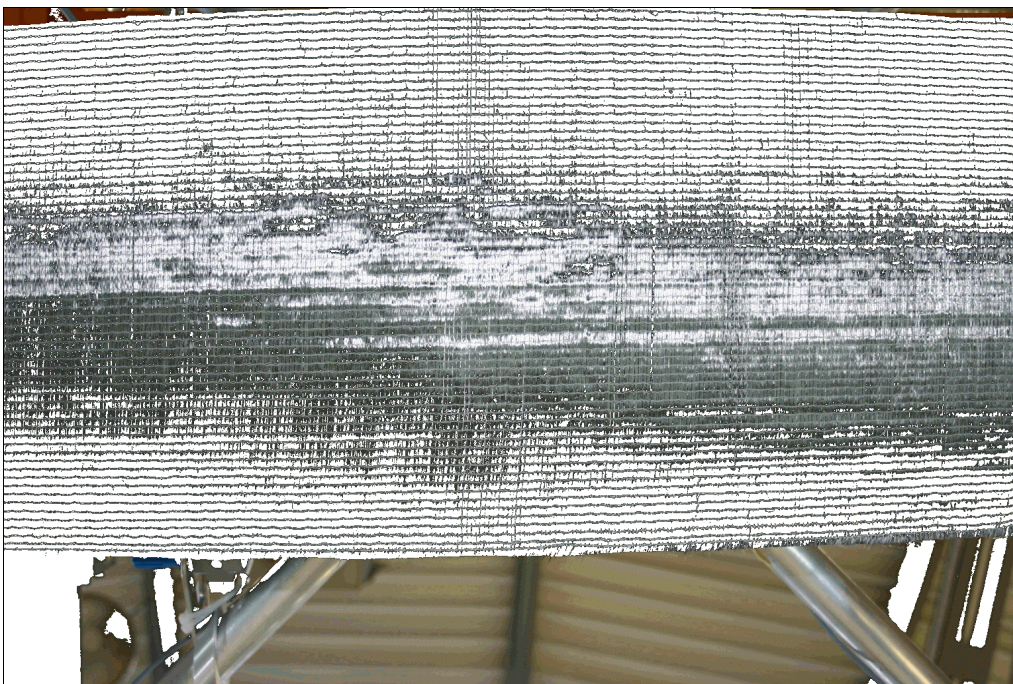


**Bild 24: Bidiagonal; Breite 315 mm; Zugstrecke von 14 mm**

Im Vergleich dazu zeigt das bidirektional aufgebaute Gelege die zu erwartende geringere Empfindlichkeit gegenüber mechanischer Belastung. Dies ist in den **Bilder 25 und 26** zu erkennen.

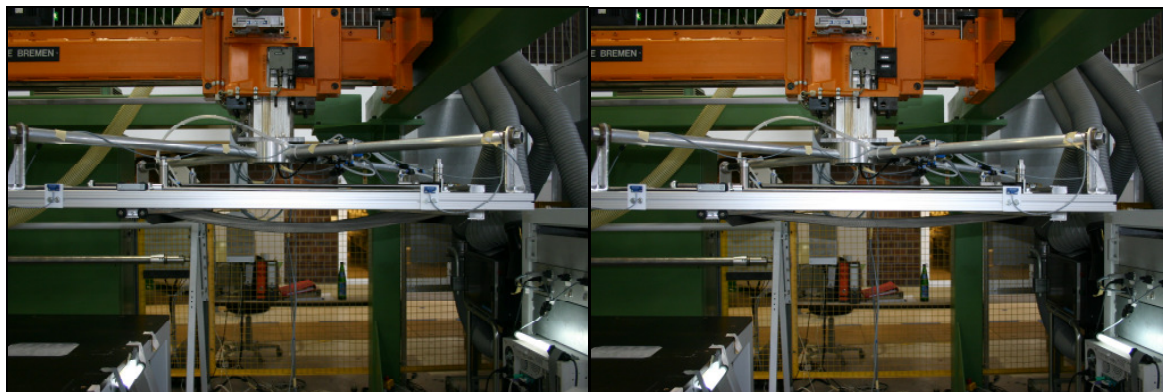


**Bild 25: Bidirectional, Breite 315 mm; Zugstrecke von 7 mm**



**Bild 26: Bidirectional; Breite 315 mm; Zugstrecke von 14 mm**

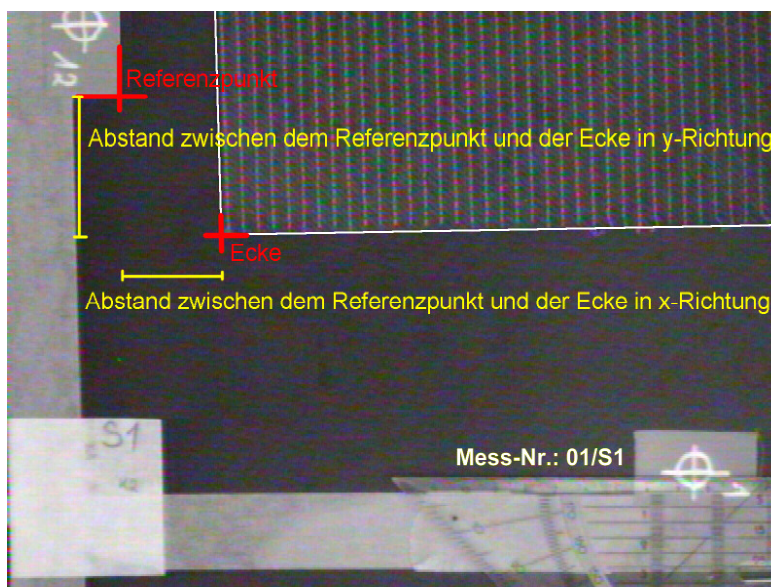
Parallel dazu wurden Aufnahmen von dem sich jeweilig ergebenden Durchhang des Materials gemacht. Die nächste Abbildung zeigt, dass der Durchhang für das bidiagonal aufgebaute Gelege bei 7mm Zugstrecke sich deutlich verringert.



**Bild 27: Bidiagonal; links nicht gespannt; rechts mit Zugstrecke von 7 mm 14 mm**

Es ist bei der Auswertung der Gesamtergebnisse erkennbar, dass bei einem Verhältnis von Klemmbreite zu Länge von 0,97 bei allen Gelegen ein Stromanstieg feststellbar ist. Im **Bild 28** ist zu sehen, dass bei einem Klemmbreite zu Verhältnis von Klemmbreite zu Gewebelänge von 1,30 nur beim bidiagonalen Gelege kein Stromanstieg feststellbar ist. Wie zu erwarten, ist für den Motor bei den Gelegen mit einer Faserlage in Null-Grad-Ausrichtung der höchste Stromanstieg zu verzeichnen. Ergänzend zu diesen Untersuchungen sind, in Kooperation mit dem CTC Stade, Ablageversuche durchgeführt worden.

**Problemstellung:** Die Position eines manuellen Textilzuschnittes ist nach der automatisierten Ablage durch einen Spanngreifer zu detektieren. Durch den Vergleich der Ablageposition mit der Position des Textils im Referenzbild ist eine Translation oder Rotation des Zuschnittes feststellbar. Es sind fünf verschiedene CF-Zuschnitte vorhanden, von denen jeweils alle vier Ecken fotografiert worden sind. Die Namen der Referenzbilder beginnen mit ,01'.



**Bild 28: Ein Referenzpunkt und eine Ecke des Textils**

**Auswertung und Ergebnisse:** Der Ablageversuch wurde mit unterschiedlichen Zuschnitten ausgeführt, die minimal in ihrer Größe variieren. Aus diesem Grund lässt sich keine eindeutige Aussage über die Verschiebung treffen. Zu sagen ist jedoch, dass die



Positionsabweichungen der Eckpunkte sowohl in x-Richtung als auch in y-Richtung größtenteils unter 1 Millimeter liegen (siehe **Tabelle 4**).

**Vorgehensweise:**

Fünf Bilder einer Ecke einlesen

- Bildausschnitt betrachten, in dem sich die Ecke befindet
- Eingezeichnete Ecke durch Filterung hervorheben
- Position der Ecke bestimmen (in Pixeln)
- Bildausschnitt betrachten, in dem sich der Referenzpunkt befindet
- Referenzpunkt durch Filterung hervorheben
- Position des Referenzpunktes detektieren (in Pixeln)
- Abstand zwischen dem Referenzpunkt und der Ecke sowohl in x-Richtung als auch in y-Richtung errechnen
- Differenz zwischen dem Abstand vom Referenzpunkt zur Ecke im aktuell betrachteten Bild zum Abstand vom Referenzpunkt zur Ecke im Referenzbild bestimmen (in Pixeln) → Positionsabweichung der Ecken relativ zum Referenzbild
- Positionsabweichung von Pixeln in Millimeter umrechnen
- Errechnete Werte in einer Excel-Tabelle ausgeben

**Tabelle 4: Zuschnitt-Ablage mittels Spanngreifer**

Bildname	Verschiebung der Ecke in x-Richtung (mm)	Verschiebung der Ecke in y-Richtung (mm)
011_bearbeitet.bmp	0	0
021_bearbeitet.bmp	1,349070016	0,72600697
031_bearbeitet.bmp	0,80704201	0,982683668
041_bearbeitet.bmp	-0,967741935	0,438005091
051_bearbeitet.bmp	0,322580645	-0,923405244

Bildname	Verschiebung der Ecke in x-Richtung (mm)	Verschiebung der Ecke in y-Richtung (mm)
012_bearbeitet.bmp	0	0
022_bearbeitet.bmp	0,314248137	1,165334962
032_bearbeitet.bmp	-0,373404213	2,947323897
042_bearbeitet.bmp	0,289434487	0,793130203
052_bearbeitet.bmp	-0,318084051	0,148619752

Bildname	Verschiebung der Ecke in x-Richtung (mm)	Verschiebung der Ecke in y-Richtung (mm)
013_bearbeitet.bmp	0	0
023_bearbeitet.bmp	-0,161905011	1,317610135
033_bearbeitet.bmp	1,611170169	0,855351531
043_bearbeitet.bmp	-0,09164919	-1,5820243
053_bearbeitet.bmp	0,861600237	-0,583021545

Bildname	Verschiebung der Ecke in x-Richtung (mm)	Verschiebung der Ecke in y-Richtung (mm)
014_bearbeitet.bmp	0	0
024_bearbeitet.bmp	-0,97179088	0,538445403
034_bearbeitet.bmp	-0,516142807	-1,015933931
044_bearbeitet.bmp	-1,101950813	-2,462698297
054_bearbeitet.bmp	-0,547970765	-1,369509288

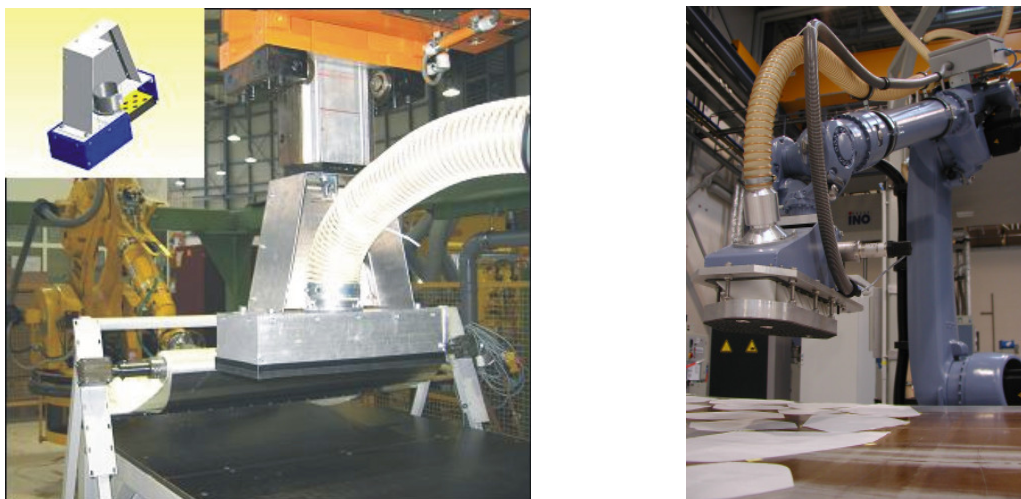
**Anmerkungen:** Ein Millimeter entspricht 6,2 Pixeln. Der Ursprung des Koordinatensystems, auf das sich die Verschiebungen beziehen, liegt oben links.

Die mehrfache Ablage eines einzigen Zuschnittes würde eine Aussage über eine eventuelle Translation oder Rotation ermöglichen. Zudem würde ein Untergrund, der einen größeren Kontrast zum Textil bietet, die Auswertung erleichtern.

### 1.3.6 Entwicklung eines Handhabungskonzeptes zur vollflächigen Ablage von Zuschnitten

#### Unterdruckprinzip

In der Handhabungstechnik werden die Vakuum- oder Unterdruckprinzipien aufgrund der Verfügbarkeit und der im Allgemeinen einfachen Automatisierbarkeit stark genutzt. Deshalb wurde von uns auch für die Applikation der Handhabung technischer Textilien der Aufbau eines Unterdruckgreifers untersucht (**Bild 29**).



**Bild 29: Integration des Unterdruckeffektors in Fertigungszellen: links, Funktionsmuster in der Portalanlage des BIK; rechts, spätere Umsetzung und Einbindung eines Prototypen-Effektors auf Basis der „Protex“ in eine Knickarm-Roboterzelle des CTC**

Es wird in dieser Anwendung von Unterdruckgreifer gesprochen, weil sich, bedingt durch die textile, luftdurchlässige Struktur der Halbzeuge, kein Vakuum ausbilden kann. Die erforderliche Haltekraft wird durch den Druckunterschied zwischen Textilunter- und -oberseite erzeugt. Der Druckunterschied multipliziert mit der Fläche muss mindestens gleich der Gewichtskraft des handzuhabenden Textilabschnittes sein. Als dimensionslose Kennzahl ergibt sich die Flächengewichtskraft dividiert durch die erzeugte Kraft pro Fläche. Diese muss kleiner oder gleich 1 sein.

Das Effektordesign ist bestimmend für die erfolgreiche Handhabung der technischen Textilien. In einem ersten Versuch wurde ein Effektor konstruiert, der den notwendigen Unterdruck mittels Saugheber auf der Textiloberfläche erzeugt. Leider zeigten die ersten Versuche, dass die Nutzung von Standard-Sauggreifern nicht möglich ist, weil die Textilien in die Ansaugöffnung eingesaugt werden. Aufgrund der beschriebenen Erfahrungen wurde deshalb das Konzept eines Unterdruckgreifers mit ebener Wirkfläche ausgeführt (vgl. **Bild 29**). Das Basiselement dieses Flächengreifers bildet ein gelochter Grundträger. Um die oben genannten Einsaugeffekte zu vermeiden, ist eine Abdeckung dieses Grundträgers erforderlich. Das Effektordesign ist so gestaltet, dass verschiedene Materialien für die Ansaugfläche genutzt werden können. Wie der bisherige Stand unserer Forschungs- und

Entwicklungsarbeiten zeigt, müssen die Abdeckungsmaterialien folgende Anforderungen erfüllen:

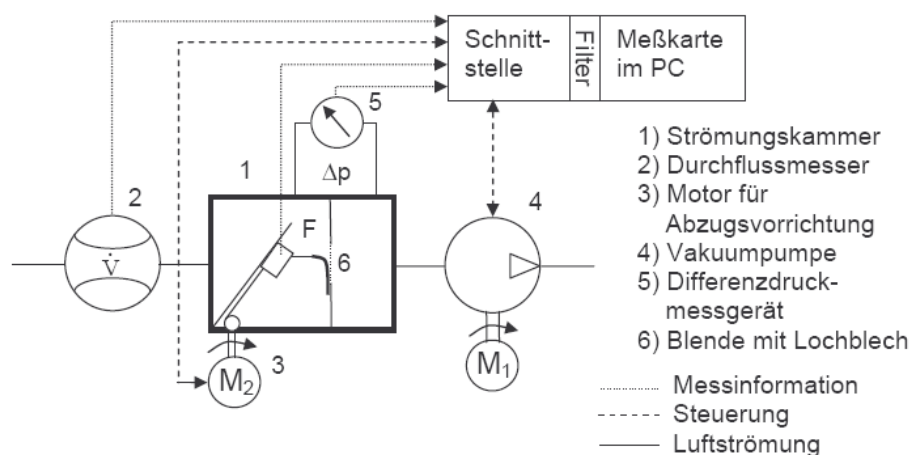
- Geringe Druckverluste,
- Gleichmäßige Druckverteilung,
- Geringe Porengröße zur Vermeidung von Einsaugeffekten,
- Elastizität zur Anpassung an Ablageoberfläche.

Entwicklungsbegleitend wurden grundsätzliche Versuche zur Ermittlung der Kräfte und Energien beim Abschälen von textilen Halbzeugen, die durch Unterdruck auf perforierten Trägern fixiert wurden, durchgeführt. Weiterhin sind Untersuchungen zum Stapeltransport erfolgt.

### Abschälen textiler Zuschnitte von einem perforierten Träger

Die zentrale Einheit des Prüfstandes bildet die Strömungskammer. Durch sie strömt die durch eine Vakuumpumpe bewegte Luft und erzeugt somit einen Unterdruck an einem perforierten Lochblech.

Ein Messrechner ist durch eine Schnittstelle mit den einzelnen Komponenten der Anlage verbunden. Über die eingebaute Messkarte werden sowohl Steuer- als auch Informationssignale zwischen der Anlage und dem Rechner ausgetauscht.



**Bild 30: Schematischer Versuchsaufbau zum Zuschälversuch**

Während der Versuche werden mit einem Turbinendurchflussmesser die Volumenströme und mit einem Differenzdruckmessgerät die Druckdifferenz zwischen der Blende mit dem eingebauten Lochblech erfasst.

Es wurden 15 Blöcke mit vier verschiedenen Druckstufen und insgesamt fünf verschiedenen Textilien durchgeführt. Hierbei wurden die Textilien in zwei Blöcke unterteilt. In einem Block wurden nur die Gelege, in einem weiteren nur die Gewebe untersucht.

Bei den Geweben stand die Untersuchung des Einflusses des Binders im Vordergrund, bei den Gelegen wurde die unterschiedliche Anzahl von Einzelschichten im Halbzeug untersucht. Die Ergebnisse sind zusammenfassend dargelegt.

Die Druckstufen sind wie folgt abgestuft:

- 600 Pa
- 900 Pa
- 1200 Pa
- 1500 Pa

Die Werte der Kraftmaxima und der spezifischen Abzugsenergien steigen bei allen Textilien proportional zu der Startdruckdifferenz an

Die spezifischen Abzugsenergien der Gelege sind ca. 90% höher als die der Gewebe.

Das Abziehen des unverfestigten Gewebes benötigt die niedrigsten Kräfte, da dies augenscheinlich das Textil mit der höchsten Permeabilität ist.

Das Quadraxialgelege setzt dem Abschälen den größten Widerstand entgegen, da es durch die hohe Lagenanzahl das dichteste und damit auch luftundurchlässigste Textil ist.

Das Bidiagonal- und das Triaxialgelege verhalten sich beim Abziehen weitestgehend identisch. Die Kraft-, Volumenstrom- und Druckverläufe verlaufen sehr ähnlich. Auch die spezifischen Abzugsenergien variieren lediglich um ca. 4%.

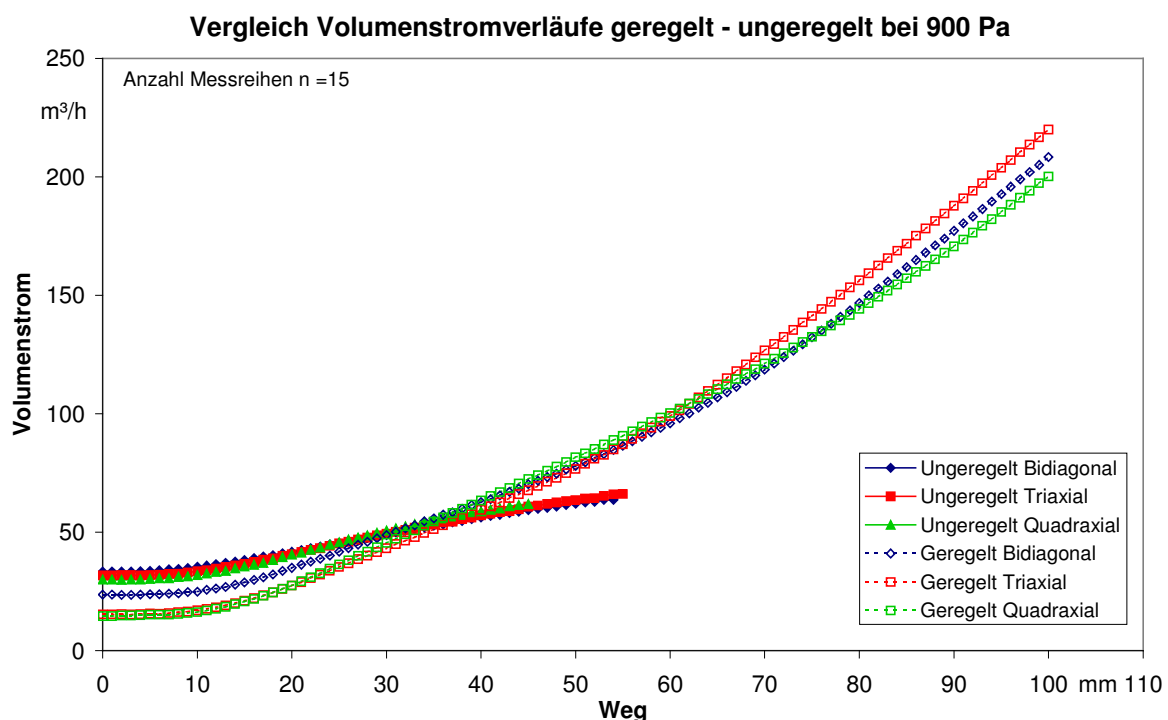
Bei den geregelten Versuchen wird der Differenzdruck durch die Drehzahlregelung in der Vakuumpumpe über einen PC konstant gehalten.

Beim Abschälen sinkt der Strömungswiderstand, da sich die unbedeckte Lochblechfläche kontinuierlich vergrößert.

Dieser Strömungswiderstand wird in der Strömungsmechanik mit dem Strömungsbeiwert beschrieben.

Der Druck ist mit der Strömungsgeschwindigkeit gekoppelt. Um die Druckdifferenz konstant zu halten, muss sich bei sinkendem Strömungswiderstand durch den Abziehvorgang der Volumenstrom  $\dot{V}$  erhöhen.

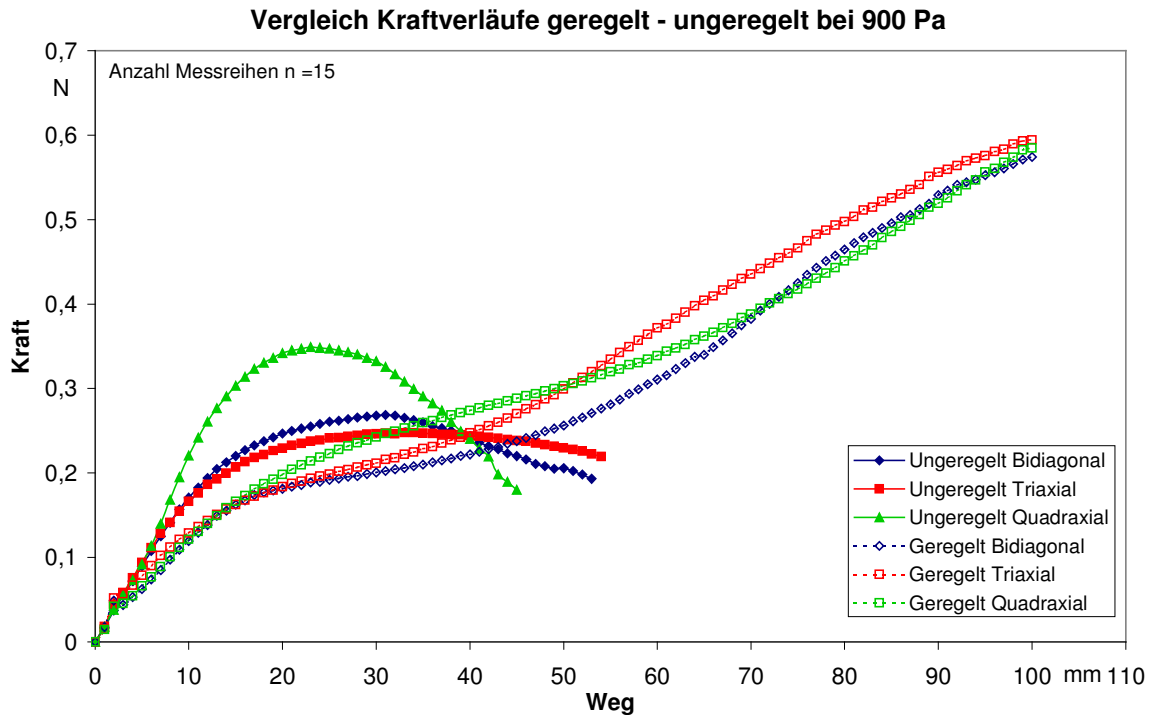
Während des geregelten Versuchs erhöht sich beim Abschälen somit kontinuierlich der Volumenstrom (s. folgendes **Bild 31**).



**Bild 31: Volumenstromverläufe verschiedene Gelege, druckgeregelt - nicht geregelt**

Die Abzugskräfte steigen beim geregelten Versuch kontinuierlich an, wohingegen sie im unregulierten Fall in Folge der Differenzdruckabnahme beim Abziehen nach einem Maximum wieder abfallen.

Im Gegensatz zu den übrigen Textilien erheblich höheren Abzugskräften des Quadraxialgeleges im unregelmäßigen Fall sind die Kurvenverläufe der Abzugskräfte der Textilien im geregelten Fall homogener.



**Bild 32: Kraftverläufe verschiedene Gelege, geregelt-unregelmäßig**

Die Kurven der Abzugskräfte im geregelten Fall überschreiten ab ca.  $x_S=40\text{mm}$  die Werte der Abzugskräfte im unregelmäßigen Fall.

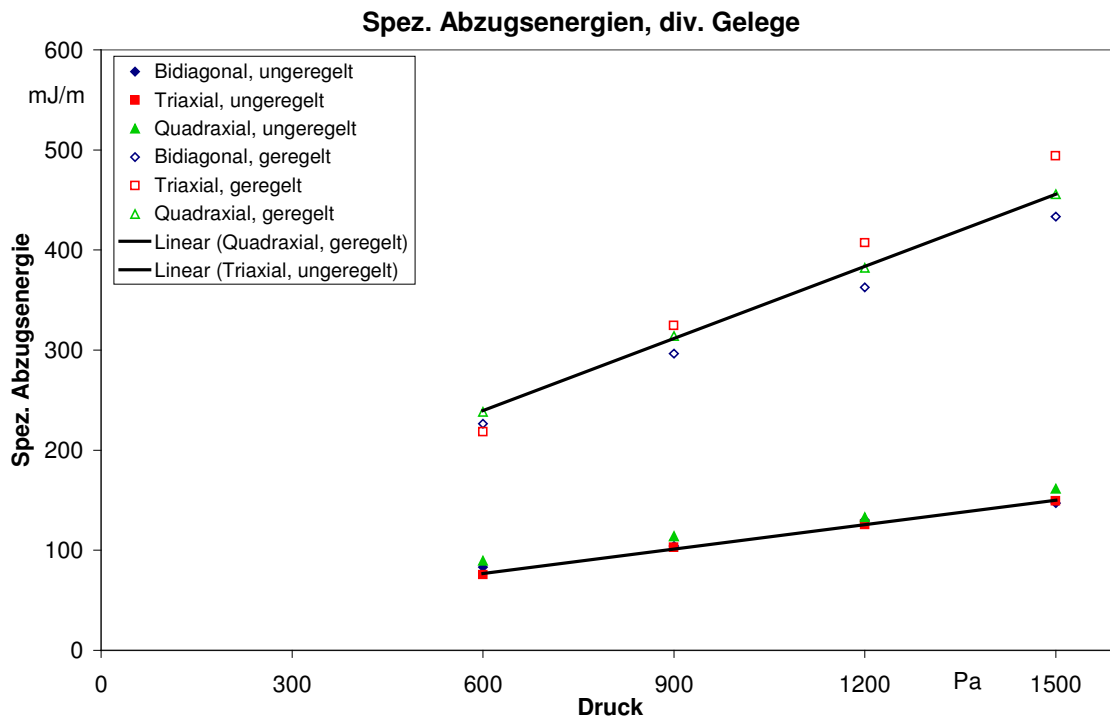
Durch die Regelung können die Textilien im geregelten Versuch viel weiter (bis  $x_S=100\text{mm}$ ) abgeschält werden als im unregelmäßigen Versuch. Bei den unregelmäßigen Versuchen muss das Abschälen eher gestoppt werden, da die Proben sonst die Haftung zum Lochblech verlieren und herunter fallen würden.

Da die Messwerte der geregelten Versuche sowohl in Kraft- als auch in Abzugswegrichtung höher sind, sind die spezifischen Abzugsenergien mit Druckregelung ungefähr dreimal so hoch wie im unregelmäßigen Fall.

**Tabelle 5 : spez. Abzugsenergien div. Gelege, geregelt-unregelmäßig**

Druck (Pa)	spez. Abzugsenergie (mJ/m)					
	Bidiagonal, unregelmäßig	Triaxial, unregelmäßig	Quadraxial, unregelmäßig	Bidiagonal, geregelt	Triaxial, geregelt	Quadraxial, geregelt
600	83,12	75,50	89,48	226,45	218,28	238,09
900	104,12	102,76	113,81	296,43	324,38	314,13
1200	129,97	125,57	133,06	362,59	407,18	382,11
1500	146,94	149,45	161,57	433,34	494,15	455,81





**Bild 33: Abzugsenergien div. Gelege, geregelt-ungeregelt**

**Fazit:** Die Ergebnisse bestätigen, dass ein Unterdruckgreifsystem für Faserhalbzeuge ein effizientes, realisierbares und sicheres System für die Handhabung und den Transport darstellt. Schäden der Textilien durch zu hohe Druckdifferenzen beim Greifen traten bei den gewählten Drücken nicht auf.

Es stellt sich heraus, dass die Textilparameter einen großen Einfluss auf den Prozess besitzen.

Das Gewebe mit geringem Flächengewicht ist in den Versuchen aufgrund der hohen Luftpermeabilität als schwierig zu handhabendes Textil identifiziert worden. Es benötigte zur Aufbringung des entsprechenden Differenzdrucks im Verhältnis zum Flächengewicht größere Volumenströme. Bei den Abzugsversuchen traten relativ geringe Abzugskräfte auf. Das schwerste Textil, das Quadraxialgelege, war sicher zu Greifen und setzte dem Abziehen die größten Kräfte entgegen.

Bezieht man die Flächengewichte der Textilien in die Betrachtung mit ein, so zeigten die Gelege die bessere „Ansaugfähigkeit“.

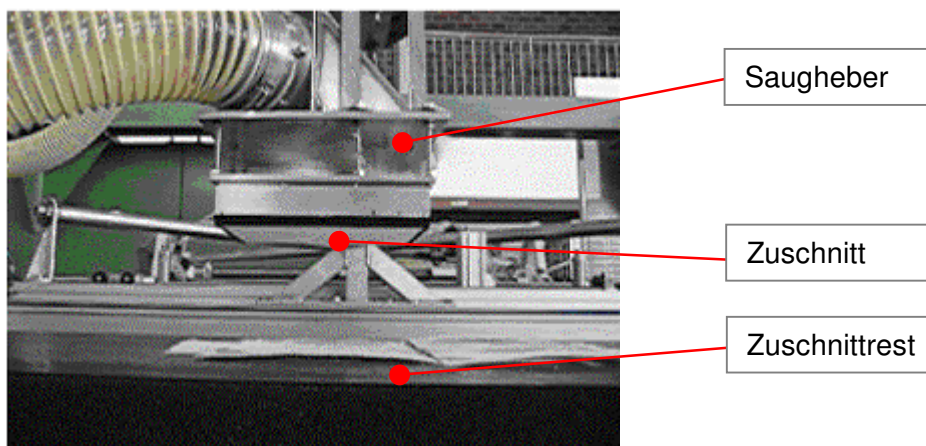
Insgesamt betrachtet sind die den Greifprozess beeinflussenden Eigenschaften der Halbzeugtextilien sehr unterschiedlich. Es empfiehlt sich somit, bei der Auslegung eines Greifsystems entsprechende Voruntersuchungen mit den infrage kommenden Textilien durchzuführen um deren Prozessfähigkeit abschätzen zu können. Die Versuche zeigen, dass jede Art von die üblichen Halbzeugen gegriffen werden können, wenn die entsprechende Anlagenleistung (Vakuumpumpe) gegeben ist.

Die Messergebnisse lagen alle im typischen Streubereich, es traten keine signifikanten Stellen oder auffallend breite Streuungen auf.

Die bei einem Strömungsprozess auftretenden Druckverluste in den Zuleitungen und Armaturen sind in den Versuchen als sehr klein (unter 1%) erkannt worden. Praktische Versuche sind hierzu – wie bei allen strömungsmechanischen Verlustrechnungen – jedoch unerlässlich.

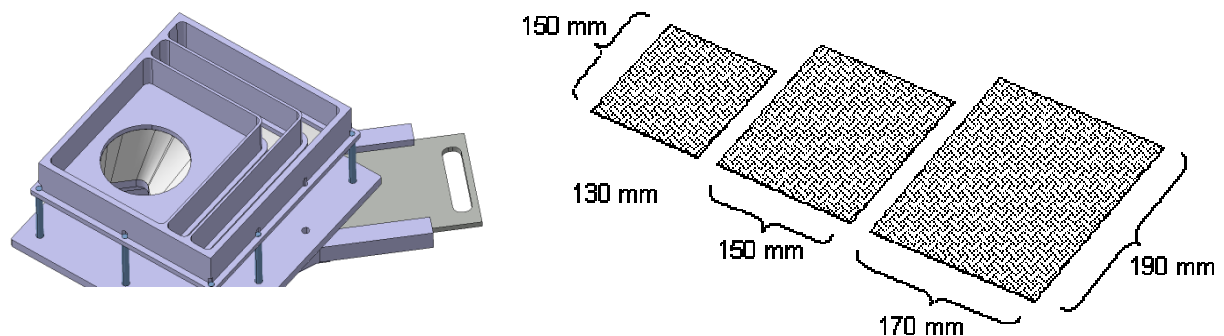
Es bietet sich an, in Kooperation mit den Herstellfirmen der Textilhalbzeuge entsprechende Kennwerte für den Unterdrucktransport zu definieren und auszuarbeiten.

Als charakteristische Kenndaten für die Transportfähigkeit bietet sich die in dargestellte spez. Abzugsenergie an. In Verbindung mit den definierten minimalen theoretischen Druckdifferenz oder einem bekannten Volumenstrom bei gegebenem Differenzdruck wird die Prozessfähigkeit für das Greifen eines Textils mit Unterdruck ausreichend beschrieben. Ausgehend von den Erkenntnissen wurde ein verbesserter Unterdruckgreifer umgesetzt. **Bild 34** zeigt diesen Greifer.



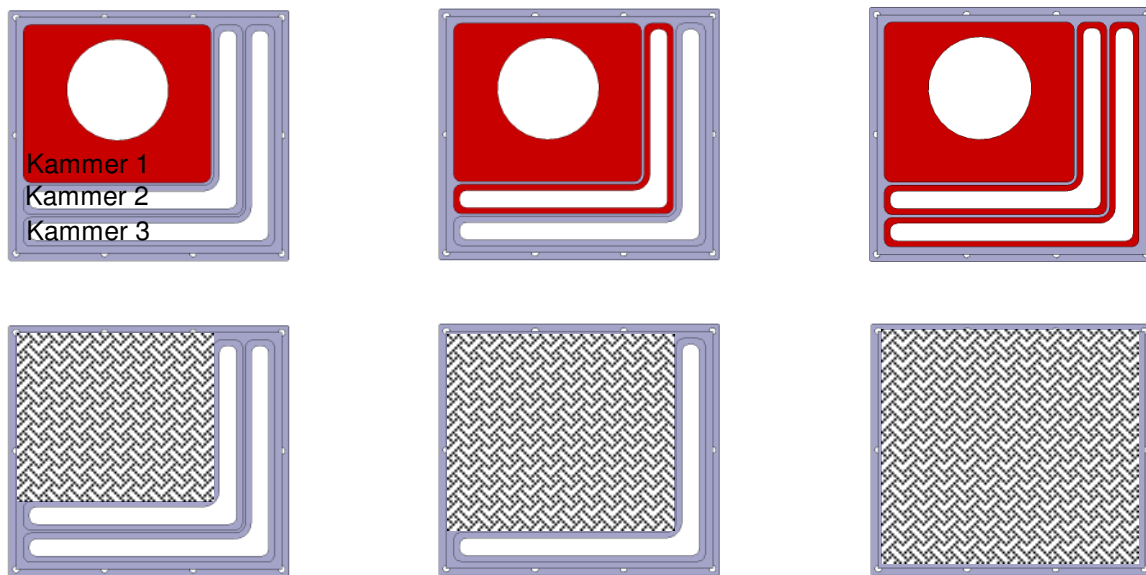
**Bild 34: Textile Zuschnittshandhabung mit Saugheber**

Die Luftströmung innerhalb des Effektors wurde untersucht. Das Ziel war es, durch eine verbesserte Luftführung eine konstante Druckverteilung über die Fläche zu erreichen, um ein Abschälen des Textils bei überhängenden Zuschnitten von der Effektorfläche zu vermeiden. Der dargestellte Greiferprototyp bietet dabei die Möglichkeit über ein Schiebersystem geeignete Luftführungswege zunächst manuell anzusteuern.



**Bild 35: Unterseite des Saugkastens; rechts: Zuschnittgrößen**

Soll ein bestimmter Zuschnitt aufgenommen werden, wird die Wirkfläche des Effektors auf das Textil aufgesetzt und eine entsprechende Kammer geöffnet. Die mit Rot markierte Fläche kennzeichnet die aktivierte Kammer.

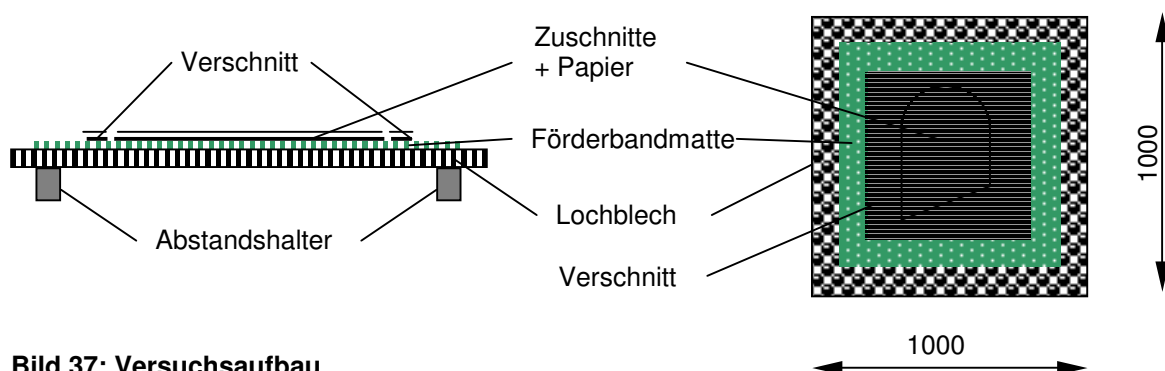


**Bild 36: Kammersystem des Greifers**

*Test- und Versuchsprogramm zum Unterdruckprinzip*

Versuchsaufbau

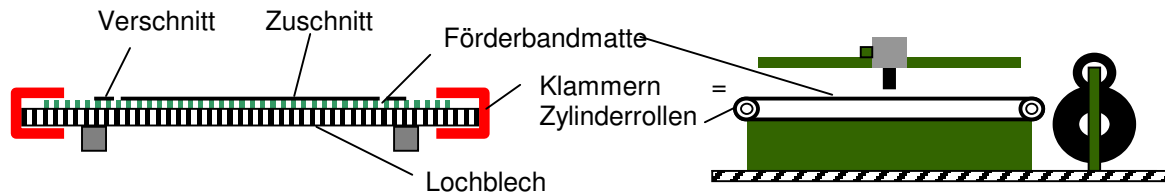
Der Versuchsaufbau sollte die Zuschnittsfläche des Ultraschallcutters möglichst exakt simulieren. Dafür wurde der in **Bild 37** dargestellte Versuchsaufbau erstellt.



**Bild 37: Versuchsaufbau**

Als Unterlage wird ein 500 mm x 500 mm großes Lochblech verwendet, um den zu handhabenden Zuschnitt und den umliegenden Verschnitt aufzunehmen. Für die Versuche mit dem Sauggreifer musste darauf geachtet werden, dass Luft durch das Lochblech von unten nachströmen konnte. Dies wurde durch entsprechende Abstandshalter erreicht. Über das Lochblech wurde eine Matte gelegt, die das Förderband des Ultraschallcutters simulieren sollte. Die Matte wurde an zwei Seiten des Lochblechs geklemmt, analog zu den

Zylindern für den Vorschub des Förderbandes. Durch die Klammern sollte eine bessere Übereinstimmung des Modellprüfstands gewährleistet werden (Bild 38).



**Bild 38: Geklemmtes Förderband**

Es wurden folgende Versuche durchgeführt:

1. Aufnahme des Zuschnitts von der Unterlage
2. Aufnahme des Deckpapiers von dem Zuschnitt
3. Einfluss auf umliegendes Gewebe
4. Aufnahmen durch Überbrücken eines Abstands zwischen Greiferwirkfläche und Zuschnitt Ablageprozess

### Versuchsergebnisse

Das Gewebe besitzt eine gewisse Luftdurchlässigkeit. Durch das Aufsetzen des Greifers auf das Textil wurde die Unterlage mitangehoben. Bei diesem Prozessablauf können umliegende Zuschnitte auf dem Förderband verrutschen oder beschädigt werden. Dieses Problem konnte durch exaktes Einstellen eines geeigneten Volumenstroms minimiert werden. Das „berührungslose“ Aufnehmen des Gewebes ist hier besser geeignet. In diesem Fall wird die Saugfläche in einem definierten Abstand über dem Textil positioniert.

Die luftdichte Deckpapierlage erzeugt eine verstärkte Fixierung des Gewebe auf dem Ultraschallcutter. Die Vereinzelung von Papier und Gewebe war sehr gut möglich, da kein Luftstrom durch das Papier geführt wurde.

Beim Ablageprozess des aufgenommenen Zuschnitts muss berücksichtigt werden, dass der Volumenstrom des Unterdruckerzeugers beim Absenken des Greifers in das Formwerkzeug hinreichend reduziert wird, um Stapelfehler zu vermeiden.

Bei den durchgeführten Versuchen wurde deutlich, dass das Prinzip, die Wirkfläche des Greifer mit Hilfe eines Kammersystems auf die Zuschnittsgröße anzupassen, eine geeignete Lösung darstellt. Es ist problemlos möglich einzelne Zuschnitte aufzunehmen, ohne dass umliegendes Material beeinflusst wird. Dafür ist die Greiferwirkfläche zur Zuschnittfläche genau auszurichten.

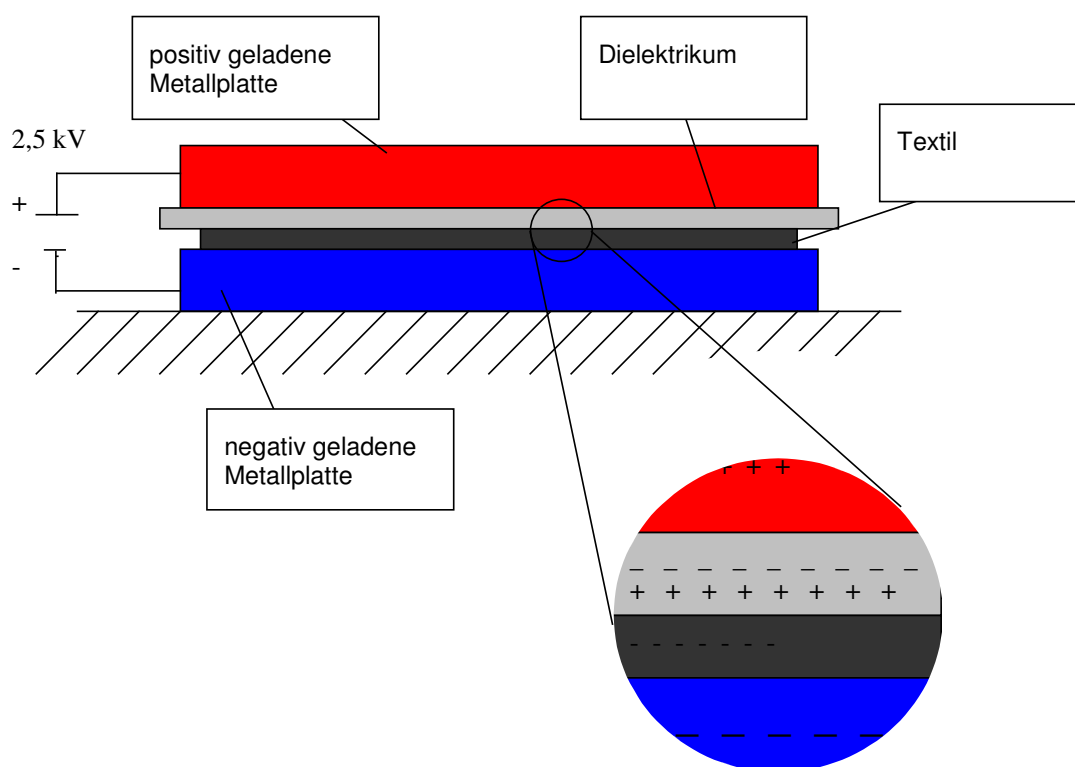
Die hieraus gewonnen Erkenntnisse wurden direkt zur Umsetzung eines Vakuum-Effektors für das Forschungsvorhaben „Auto-RTM“ verwertet. In diesem Projekt wurde eine automatisierte RTM-Prozesskette aufgebaut.

### Elektroadhäsives Greifprinzip

Im Rahmen des Forschungsvorhaben ist auch das elektroadhäsive Wirkprinzip für die Handhabung textiler Faserwerkstoffe betrachtet worden.

Es sind theoretische Grundlagen und der Stand der Technik zum elektrostatischen Greifen erarbeitet und unter Berücksichtigung der Prozess-Anforderungen eine Versuchsreihe durchgeführt worden.

Zwischen einer oben liegenden, positiv- und einer untenliegenden negativ geladenen Metallplatte befindet sich ein Dielektrikum (z. B. eine dünne thermoplastische Folie). Zwischen dieser Folie und der unteren Metallplatte wird dann das zu transportierende Textil eingelegt. Beim Anlegen einer hohen Gleichspannung (mehrere kV) kommt es durch das Dielektrikum zur Ladungstrennung. Auf der oberen Platte herrscht Elektronenüberschuss, auf der untenliegenden Elektronenmangel. Die Folie wirkt isolierend und verhindert somit den Ladungsaustausch. Sie ist aber dennoch polarisierbar, d. h. die Folie bildet durch das elektrische Feld an ihren Oberflächen ebenfalls unterschiedliche Ladungen aus. Durch die polarisierte Folie entsteht eine elektrostatische Kraft zwischen Folie und Textil.



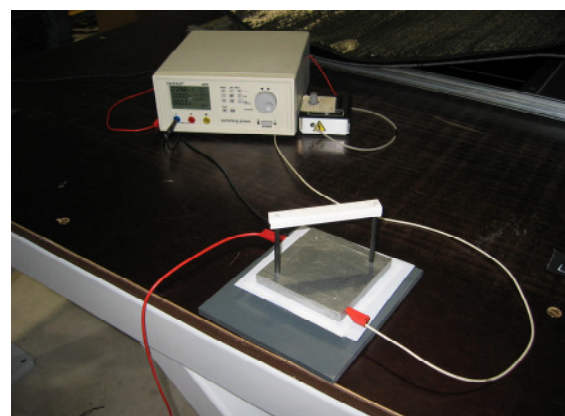
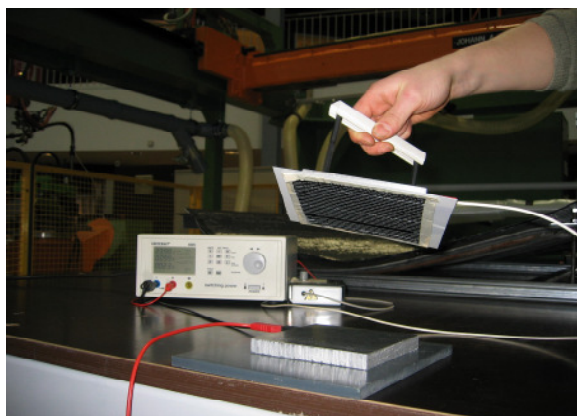
**Bild 39: Veranschaulichung der Ladungstrennung**

Beim Anheben der oberen Platte bleiben Folie und Textil auf Grund elektrostatischer Kräfte, an der Metallplatte haften.

In einer Vorversuchsreihe sollte das elektrostatische Greifen auf seine generelle Wirkungsweise untersucht werden. Als Grundlage hierzu diene der Plattenkondensator-Aufbau.

**Versuch V0:**

Versuchsbezeichnung	V 0
Grundprinzip	Plattenkondensator
Leiterbahnmaterial	Aluminiumplatten
Leiterbahnfläche in mm	100 x 100
Leiterbahnanordnung	-
Leiterbahngeometrie	-
Bahnbreite	-
Bahnabstand	-
Dielektrikum	Folie, thermoplastisch
Dicke	0,3 mm
Oberfläche	glatt
Fläche in mm	150 x 150



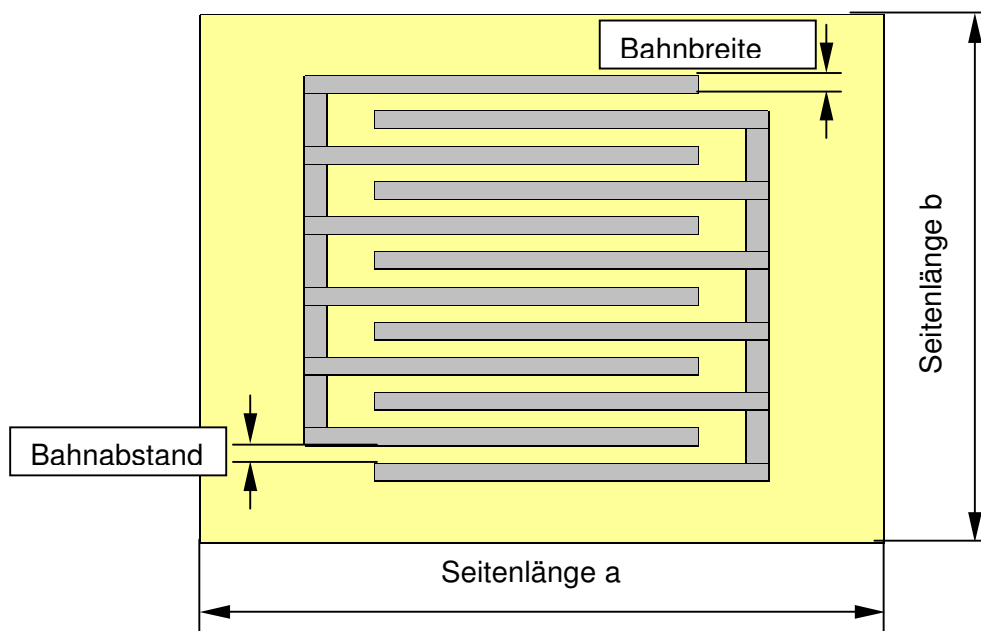
**Bild 40: Hebevorgang**

Die Ergebnisse der Vorversuchsreihe bestätigen hohe Haltekräfte mit diesem Aufbau. Die leitende Unterlage ist in dieser Konfiguration zur Felderzeugung notwendig. Dies ist aber für den Gesamtprozessablauf nachteilig, da die Zuschnitte zumeist von nichtleitenden Förderbändern angehoben werden müssen. Da dies mit Hilfe dieses Aufbaus nicht möglich ist, sind in der Vorversuchsreihe verschiedene Leiterbahnanordnungen auf ihre Wirkungsweise untersucht worden. Hier ist vorrangig die kammförmige Anordnung zu nennen (Versuch V1).

In den ersten Versuchen hat sich bereits gezeigt, dass es eine erhebliche Kurzschlussgefahr zwischen den gegensätzlich geladenen Leiterbahnen gibt. Diese Gefahr liegt ebenfalls bei der „offenen“ Plattenkondensator-Konfiguration vor. Bei einem solchen Kurzschluss wird häufig das Dielektrikum beschädigt und der Aufbau dadurch unbrauchbar. Es wurden daher verschiedene Ansätze für die Minimierung der Kurzschlussgefahr durch verbesserte Isolation verfolgt.

**Versuch V1:**

Versuchsbezeichnung	V 1
Grundprinzip	Leiterbahnen
Leiterbahnmaterial	Aluminiumfolie (selbstklebend)
Leiterbahnfläche in mm	150 x 150
Leiterbahnanordnung	kammförmig
Leiterbahngeometrie	einseitig auf Folie
Bahnbreite	10mm
Bahnabstand	10mm
Dielektrikum	PC – Folie
Dicke	0,3 mm
Oberfläche	glatt
Fläche in mm	a = 200 mm; b = 200 mm



**Bild 41: Skizze des kammförmigen Leiterbahnaufbaus**

Bei diesem Versuch werden manuell Leiterbahnen aus Aluminiumfolie direkt auf das Dielektrikum geklebt. Wie man in der schematischen Darstellung sehen kann, werden die Leiterbahnen kammförmig und einseitig auf das Dielektrikum aufgebracht. Die Leiterbahnbreite beträgt im Versuch V1 10mm und der Abstand zwischen den einzelnen Leiterbahnen beträgt ebenfalls 10 mm.

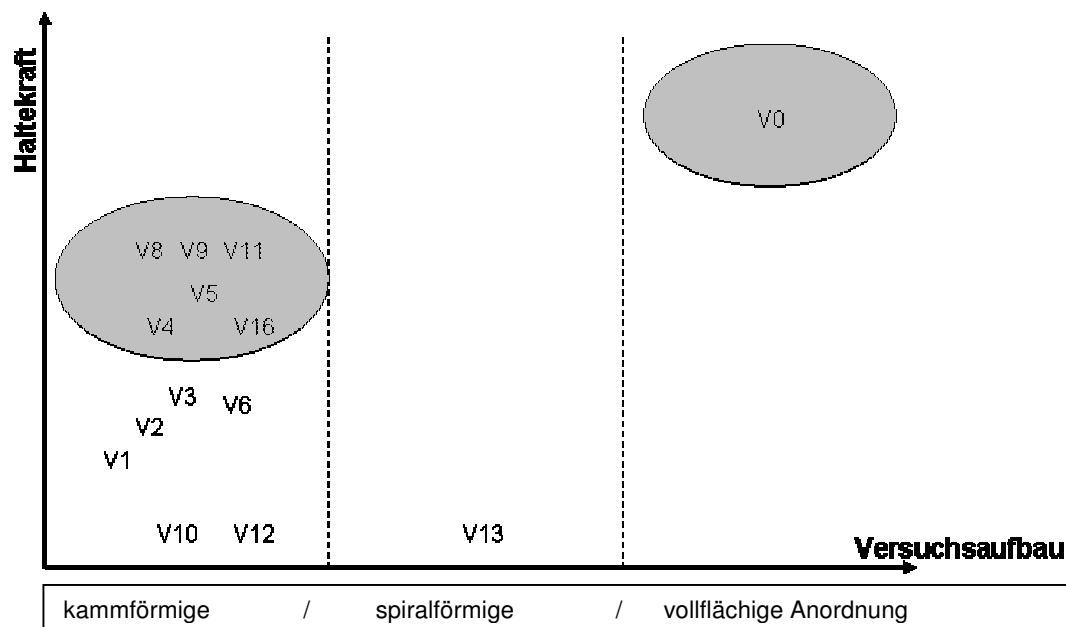
Das Dielektrikum bildet eine 0,3 mm dicke Dielektrikum mit glatter Oberfläche. An die beiden Leiterbahnkämme wird nun wie beim Plattenkondensator eine Spannung angelegt, wobei ein Kamm mit positiven 5 kV und der andere Kamm entsprechend negativ belegt wird. Diese Versuchsanordnung wird mittels eines Klemmmechanismus unter die Trägerplatte geklemmt und kann so von oben auf das Textil gepresst werden.

Wie bereits angenommen, war mit dieser Anordnung der Transport von Papier möglich. Bei dem Versuch Textilien anzuheben, konnte lediglich Textil mit geringem Flächengewicht von ca. 200 g/m<sup>2</sup> angehoben werden. Es wurde hierbei nur eine sehr schwache Haftkraft erzielt, die etwa der Gewichtskraft des Zuschnittes entsprach. Nur leichte Bewegungen des Effektors verursachten ein Lösen des Textils vom Effektor. Bei weiteren Versuchen konnten

Durchschläge zwischen den Leiterbahnen beobachtet werden, welche einen Kurzschluss auslösten. Dabei wurde das Dielektrikum beschädigt und somit unbrauchbar.

In dieser Form ist die kammförmige Anordnung für die Handhabung textiler Faserwerkstoffe nicht funktionsfähig, da selbst die leichteste Textilprobe nur unzureichend gehalten wurde. Es ist allerdings fest zu halten, dass ein Anheben von Textilien mit diesem Anordnungsprinzip grundsätzlich möglich ist.

Es wurden weitere Versuche zur Optimierung dieses Prinzip durchgeführt. Weiterhin ist auf die Kurzschlussgefahr zu achten. Diese sollte für eine Anwendung möglichst gering gehalten bzw. ausgeschlossen werden. In diesem Zusammenhang ist ebenfalls der Einfluss von Verschmutzungen wie z.B. durch Filamente der Textilien zu betrachten.



**Bild 42: Übersicht der Versuche im Vergleich**

Des Weiteren wurden nun die Breite der und die Abstände zwischen den Leiterbahnen auf einen Einfluss untersucht. Diese wurden schrittweise verringert mit dem Ergebnis, dass bei der Leiterbahnbreite Verbesserungen bis zu einer Breite von 5 mm beobachtet wurden, während der Wirkungsgrad unterhalb dieser 5 mm wieder abnahm. Diese Werte wurden dann auch für folgende Versuche verwendet bei denen alternative Anordnungen oder Materialien zum Einsatz kamen.

Bei den Versuchen mit alternativen Leiterbahnanordnungen wurde festgestellt, dass durch das Kammprinzip bereits relativ gute Werte erzielt werden konnten. Die Anordnung aus dem Versuch 13, bei der Leiter spiralförmig bzw. kreisförmig angeordnet wurden, brachte keinen Erfolg. Das folgende Bild zeigt eine qualitative Übersicht zu den Versuchen.

Neben den gerade beschriebenen Versuchen bezüglich der Leiterbahnen und ihrer Anordnung sind in der Vorversuchsreihe ebenfalls erste Untersuchungen zum Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit der Dielektrika durchgeführt worden. Es wurde ein Einfluss der Oberfläche auf die Haltekräfte festgestellt.

Weiterhin wurde der Einfluss aufgeprägter Spannungen bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 23 % und 33 % genauer analysiert. Das Ergebnis ist in **Bild 43** dargestellt.



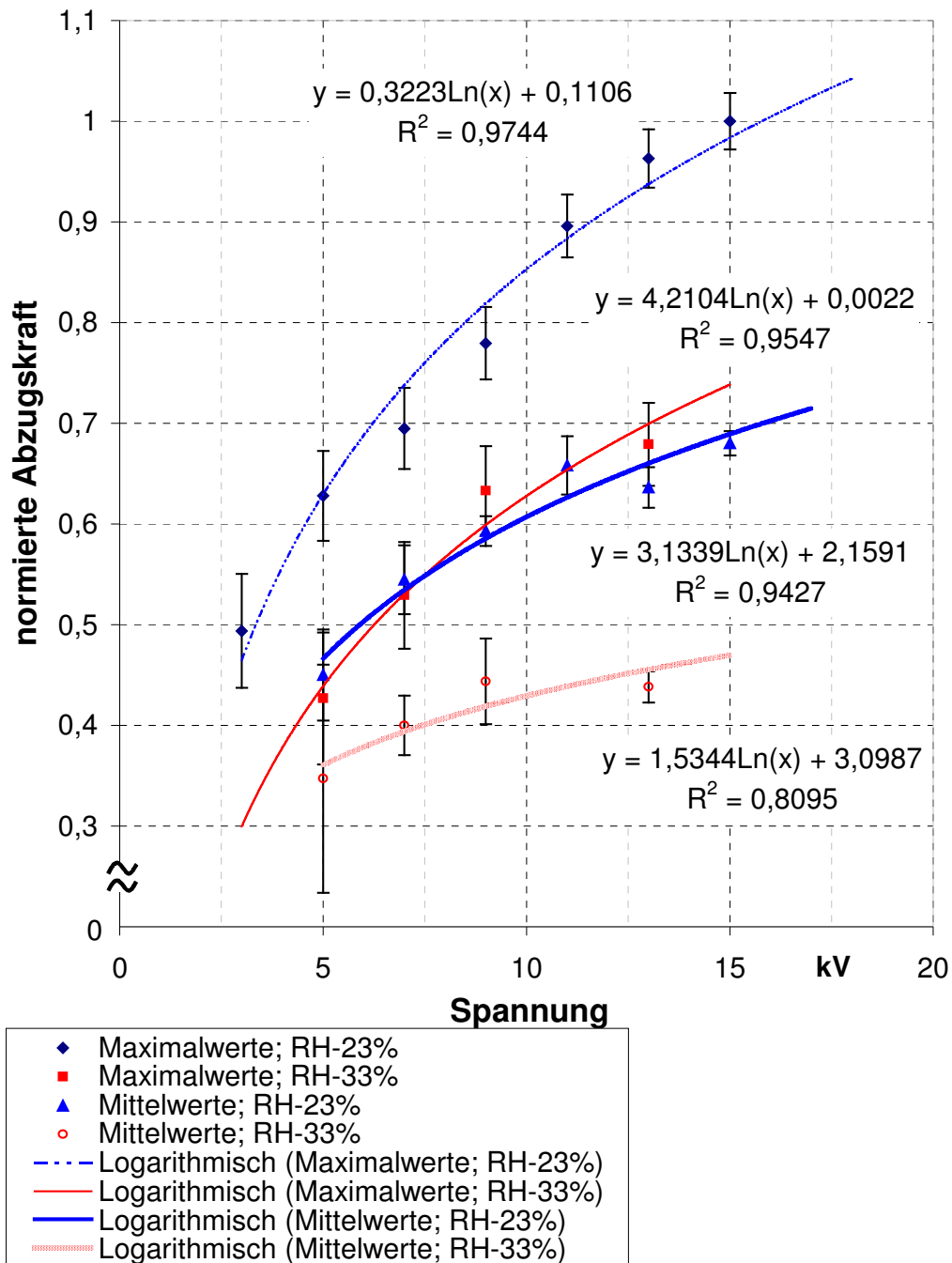


Bild 43: Einfluss der relativen Luftfeuchtigkeit auf die Haltekraft bei variierenden Spannungen

## Bewertung des elektrostatischen Greiferprinzips

### Vorteile des Greifsystems

- Mit diesem System können sehr leichtgewichtige Greifsysteme aufgebaut werden, da die konstruktive Umsetzung über flexible Trägerbahnen dies ermöglicht.



- Die Krafteinwirkung bei der Aufnahme ist durch die elektrostatische Aufladung über die gesamte Fläche konstant verteilt. Somit lässt sich eine absolut flächige Krafteinleitung in die Textilenzuschnitte einleiten. Die Beanspruchung des textilen Flächengebildes ist damit minimal.
- Diese Variante benötigt keine zusätzliche Halte- oder Klemmmechanik. Das System ist wartungsarm.
- Das Vereinzeln gestapelter Zuschnitte ist möglich, da die elektrostatischen Kräfte vorrangig auf den obersten Textilizuschnitt eines Stapels wirken. In den folgenden Schichten sind die auftretenden Kräfte zu gering.
- Die Adaption einer Greiferwirkfläche an gekrümmte Laminierwerkzeug ist möglich. Dies ist sowohl für konvex als auch für konkave Krümmungen realisierbar.
- Das Stabilisieren bzw. Fixieren der ersten Halbzeuglage nach dem Einlegen in das Formwerkzeug.

### Nachteile des Greifsystems

- Der Prozess sollte in einer klimatisierten und staubfreien Fertigungsstätte ablaufen, da es sonst zu Qualitätsschwankungen während der Produktion kommen könnte.
- Es sind verschärfte Sicherheitsvorschriften bei Arbeit mit Hochspannung einzuhalten. Die für den Prozess notwendige Hochspannung liegt bei mehreren kV. Dies wird maßgeblich für die Umsetzung großflächiger Effektoren notwendig.
- Der wohl größte Nachteil ist, dass die erzeugten Haltekräfte für sehr vielschichtige Faserhalbzeug mit großen Flächengewichten oft zu gering sind, um eine ausreichende Prozesssicherheit nachzuweisen.
- Bei allen bisher entwickelten elektrostatischen Greifprinzipien, handelte es sich um Konzepte und Prototypen, deren Funktionstauglichkeit in einem realen, industriellen Prozess bislang noch nicht erprobt sind. Es sind hierzu noch weitere Versuche durchzuführen.

**Fazit:** Es wurde in einer Vorversuchsreihe festgestellt, dass der Auswahl der Dielektrika eine besondere Bedeutung zukommt. Weiterhin entscheidend sind das Elektroden-Design und die Einhaltung gewisser Umgebungsparameter. Die erzielten Haltekräfte sind zwar gering, jedoch ermöglicht ein solches Prinzip das Handhaben von textilen Flächengebilden mit niedrigen Flächengewichten von etwa 250 g/m<sup>2</sup> aus der Ebene hinreichend sicher.

Zu diesem Zweck ist zunächst ein Messaufbau entwickelt und umgesetzt worden. Es sind Haltekräfte bei gegebenen Umgebungsbedingungen ermittelt worden.

Die in Abhängigkeit zur Spannung ermittelten Haltekräfte zeigen einen nichtlinearen Zusammenhang. Es wurde weiterhin eine Abnahme der Haltekräfte bei zunehmender relativer Luftfeuchtigkeit festgestellt.

Im Rahmen der Untersuchung sind zudem verschiedene Gelegevariationen getestet worden. Zwei der Gelege haben sich aufgrund ihrer hohen Steifigkeit vom Effektor abgeschält und konnten somit nicht angehoben werden.

Mit den Untersuchungen ist es gelungen, eine mögliche Handhabung textiler Faserwerkstoffe durch elektrostatische Kräfte mit Hilfe eines einseitig operierenden Effektors

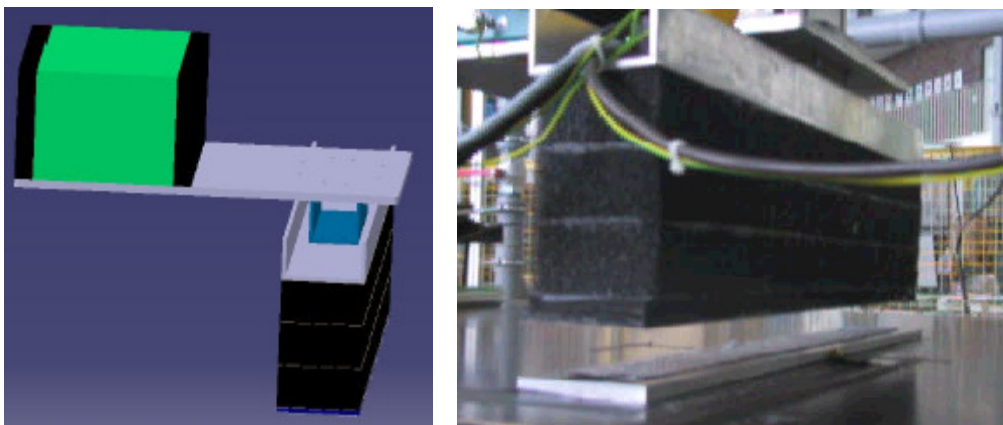
zu erarbeiten. Es wurde ein Screening von wichtige Einflussgrößen durchgeführt und aufgezeigt, dass sie für ein hinreichendes Prozessverständnis unverzichtbar sind. Vor allem besonders biegeschlaffe Textilien konnten problemlos gehandhabt werden. Bei Textilien mit einer sehr hohen Biegesteifigkeit war eine Abschälung zu beobachten. Bei einer Skalierung auf eine größere Fläche ist aber anzunehmen, dass der Einfluss dieses Parameters abnimmt.

Von einer „Prozesssicherheit“ kann jedoch noch nicht gesprochen werden, da die Versuche lediglich in einem normierten Versuchsaufbau durchgeführt worden sind. Der verwendete Effektor ist grundsätzlich skalierbar. Es sind folglich Untersuchungen an größeren Aufbauten durchzuführen.

Weiterhin gilt es, Fragestellungen zur Sicherheit bzgl. der Einhaltung der Maschinenrichtlinie 98/37/EG zu klären. Hierzu wird es für einen späteren Einsatz notwendig sein, eine automatisierte Anlage mit einer vollständigen Einhausung zu versehen. Dies wird zudem für die Einhaltung der Umgebungsbedingungen erforderlich sein.

Aus derzeitiger Sicht bleibt festzuhalten, dass der Einsatz der Elektrostatik für die Handhabung biegeschlaffer Flächengebilde ein äußerst interessantes Prinzip ist, auch wenn noch nicht alle Fragestellungen vollständig gelöst sind.

Das Bild 40 zeigt den derzeitigen Stand der Effektor-Entwicklung.



**Bild 44: Elektrostatik-Effektor**

## 1.4 AP: Konfektionstechnik und Bauteilherstellung

### 1.4.1 Entwicklung eines Konzepts zur Handhabung von konfektionierten Stringer-Preforms

#### Unterdruckprinzip

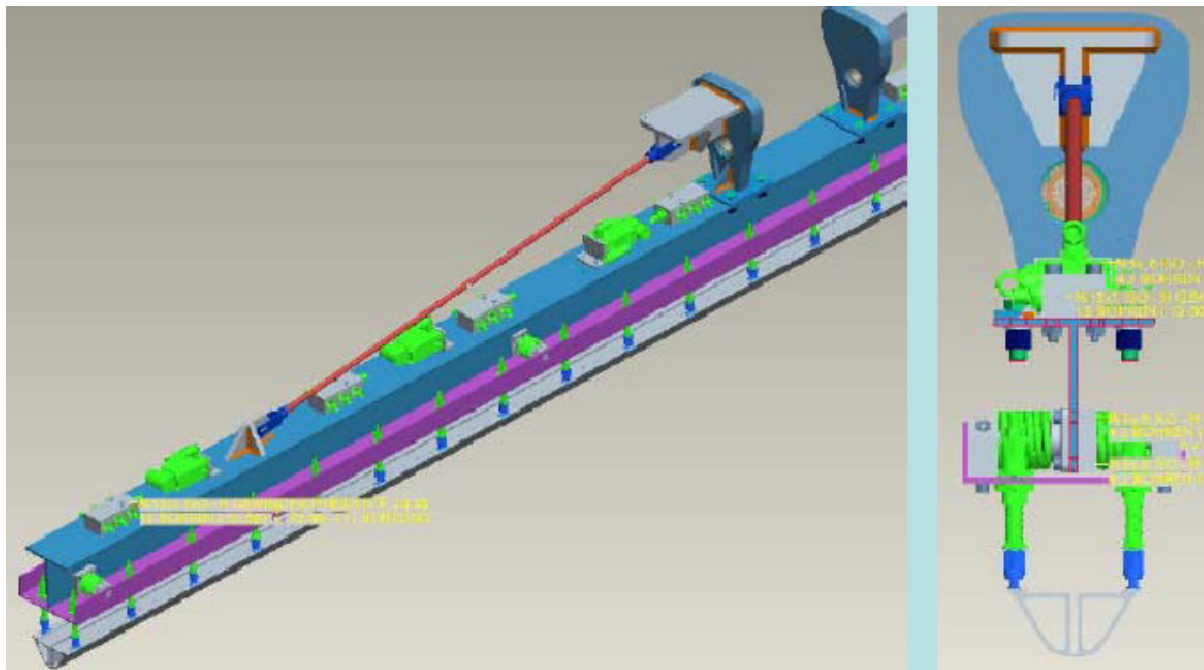
Aufgrund der Verfügbarkeit wurde auch hier zunächst das Unterdruckprinzip in den Fokus der Betrachtungen gerückt. Es sollen vorkonfektionierte Stringerpakete aus einem Magazin in eine Legevorrichtung transportiert werden. Diese Pakete bestehen aus gefalteten textilen L-Profilen, dessen Flanken durch stützende Aluminium-Schienen stabilisiert werden.

Es wurde zunächst eine Funktionsstruktur erarbeitete. Darauf basierend wurde ein möglicher Lösungsansatz entwickelt, der das gesamte Paket durch Fixierung der Stützprofile hebt. Die Einleitung der Haltekraft geschieht dabei am äußeren Rand einer Flanke des Profils (siehe **Bild 45**, rechts unten), wobei in Längsrichtung der Profilschiene definierte Stützpunkte gewählt wurden. Es kommen Standard-Saugheber zum Einsatz, die gefedert an das Tragelement angebunden wurden.

Der gesamte Greifer kann durch die Anbindung an ein Gestell mit Schwenklager gekippt werden. Damit wird ein Ablegen der Stringer in Stringermulden auf einer einfachgekrümmten Fläche möglich.

Die Anwendung des Unterdruckprinzips setzt voraus, dass die dargestellten Wirkflächen nicht mit Abreißgeweben oder Fließhilfen bedeckt werden. Eine derartige Änderung der Rahmenbedingungen führt zu nicht hinreichenden Haltekräften und damit zum Funktionsverlust des Greifers.

Die Einsetzbarkeit eines magnetischen Wirkprinzips wurde ansatzweise untersucht, um der o.g. Problematik gerecht zu werden.



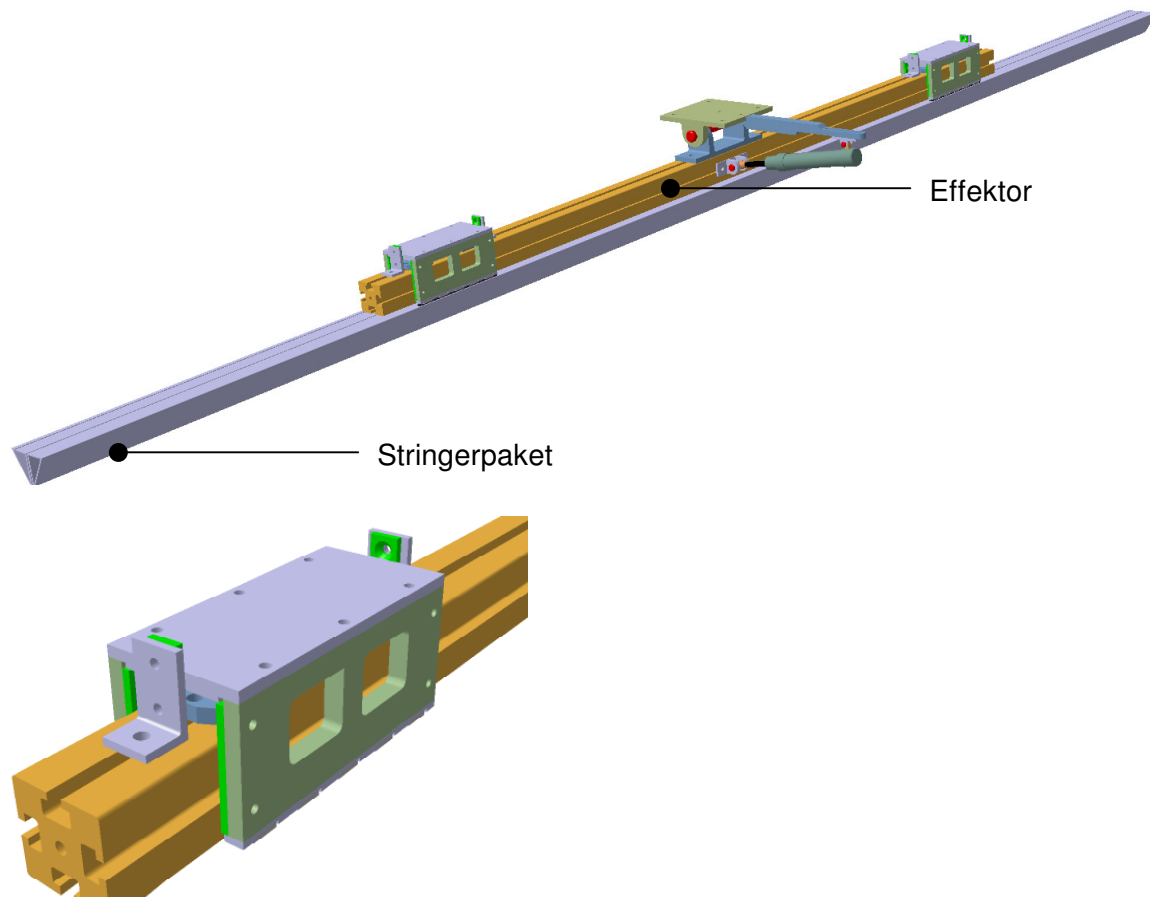
**Bild 45: Effektor zum Transport von Stringerpaketen**

### Handhabung von Stringerpaketen

Es zeigte sich, dass die durch Hilfsstoffe erzeugte Spalthöhe durch ein magnetisches Feld überbrückt und ausreichende Haltekräfte realisiert wurden. Die folgende Bild 46 zeigt den Entwurf des Preform-Effektors:

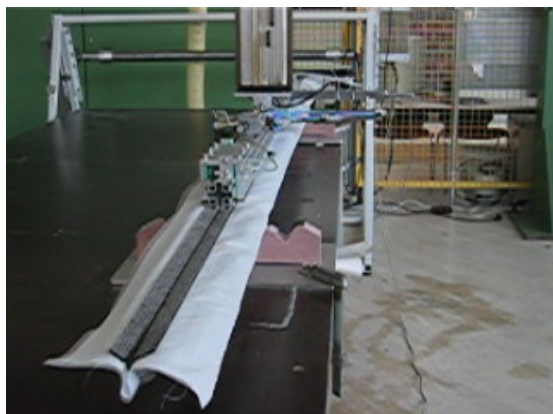
Der Magnetgreifer wird mit einer Anschlussplatte an das Portal montiert. Das tragende Profil ist gelenkig an die Anschlussplatte befestigt. Es besitzt eine Länge von 2000 mm und eine quadratische Querschnittsfläche von 60\*60 mm<sup>2</sup>. Der Magnetgreifer ist durch die pneumatische Schwenkvorrichtung in der Lage, sich in beide Richtungen um 45° zu drehen. Dies ist zur Positionierung der „Stringerpakete“ auf der gewölbten Ablage erforderlich. Die „Stringerpakete“ werden durch Magnete fixiert. An das zu positionierende Aluminium-Profil werden an den entsprechenden Stellen Eisenkerne integriert, um ein magnetische Haltekräfte aufzubauen. Soll das positionierte Paket abgelegt werden, heben sich die Greifeinheiten an und das Stringerpaket wird von den Magneten mechanisch getrennt – es wird an der Unterseite des Profils abgestreift. Die Greifeinheit besteht aus jeweils drei Aluminium-Platten. Diese liegen auf pneumatischen Spannmodulen auf. Die Platten können

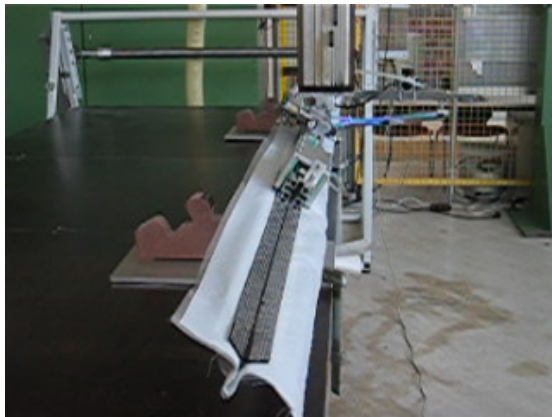
zu Montage- oder Wartungszwecken nach oben hin abgenommen werden. Geführt wird die Greifeinheit durch Gleitschienen aus Kunststoff, die ein Verrutschen in Längs- und Querrichtung verhindern und durch die Verschraubung einstellbar sind. Die Spanmodule heben die Greifeinheit um ca. 8 mm an.



**Bild 46: Entwurf zum Preform-Effektor; unten links: Greifeinheit im Detail**

Dieser Entwurf ist umgesetzt und getestet worden. Die folgende **Bild 47** zeigt den Preform-Effektor.





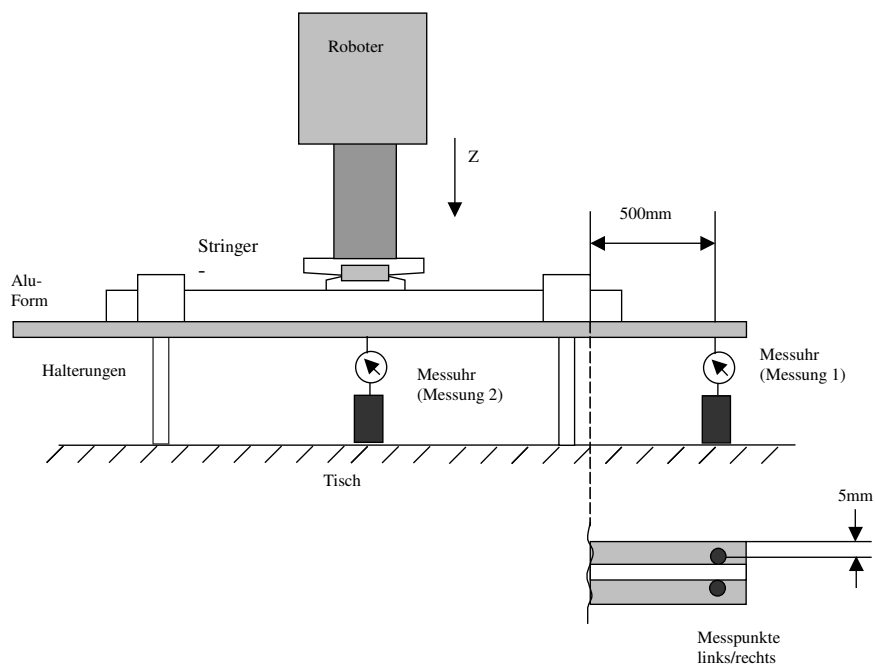
**Bild 47: Preform-Effektor**

### 1.4.2 Untersuchung zur Aufnahme des Stringers und Durchbiegung der Formstücke

Es wurde die Positioniergenauigkeit des Portals mit Greifer beim Aufnehmen eines Stringers gemessen. Hierzu wurde folgender Arbeitszyklus abgefahren:

- Positionierung des Greifers in Z-Richtung auf dem Stringer
- Greifen (Magnete fallen auf den Stringer und greifen)
- Lösen (Magneten werden durch Pneumatikzylinder vom Stringer gelöst)
- Zurückfahren des Greifers in die Endposition

Die Messuhr wurde auf dem Tisch fixiert. Der Fühler der Messuhr berührte die Alu-Formstücke die den Stringer beinhalten. Die Messpunkte lagen bei der ersten Messung außerhalb der am Tisch befestigten Halterungen, einmal auf der rechten und bei einer zweiten Messung auf der linken Seite. Bei dem zweiten Durchlauf wurde die Messuhr mittig zwischen den beiden Halterungen auf dem Tisch fixiert.



**Bild 48: Versuchsanordnung zur Erfassung der Positionierung des Greifers in Z-Richtung**

Versuchsdurchführung

Es werden jeweils 10 Wiederholungen pro Messpunkt durchgeführt. Die verschiedenen Positionen werden in einem Programm nacheinander abgefahren.

1. Ausgangsposition
2. maximale Durchbiegung
3. minimale Durchbiegung
4. Greifen
5. Lösen
6. Endposition

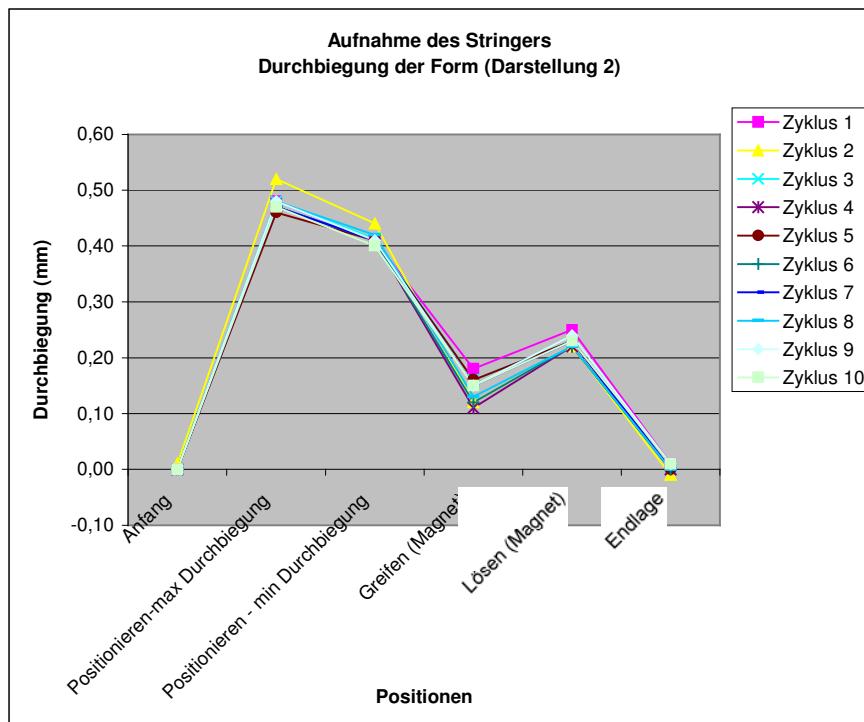
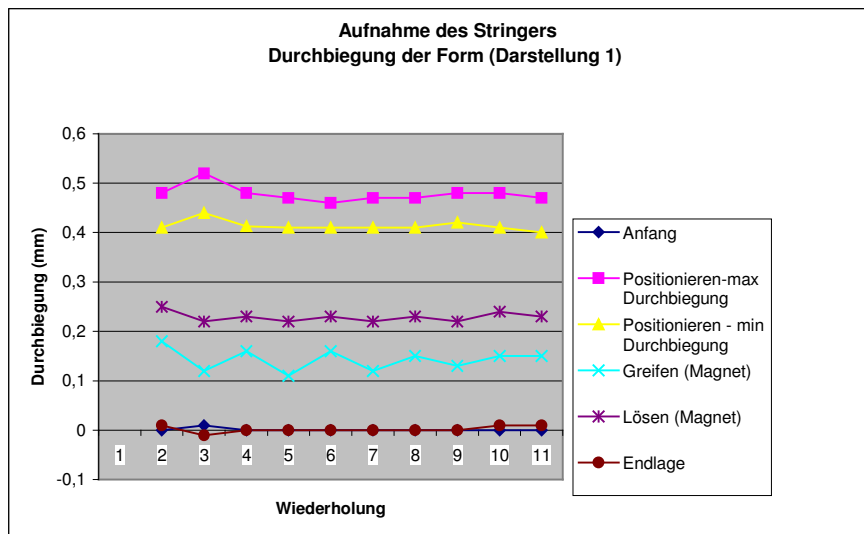
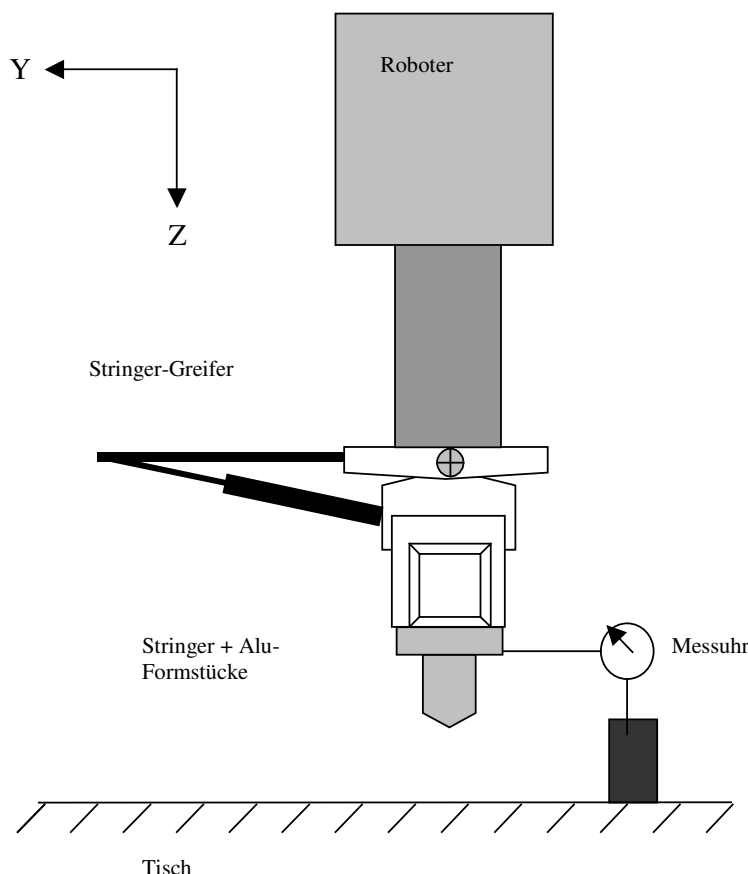


Bild 49: Durchbiegung der Aluminium-Formstücke in zwei Darstellungen

Die Differenz zwischen der maximalen und der minimalen Durchbiegung ist auf die Funktionsweise des Portals im Handmodus zurückzuführen. Besonders bei der Bewegung der Z-Achse wurde ein Überfahren der Position erkennbar. Hier liegt die durchschnittliche Überschreitung bei 0,07 mm.

### Aufnahmegenaugigkeit des Stringers in Y-Richtung

#### Versuchsaufbau



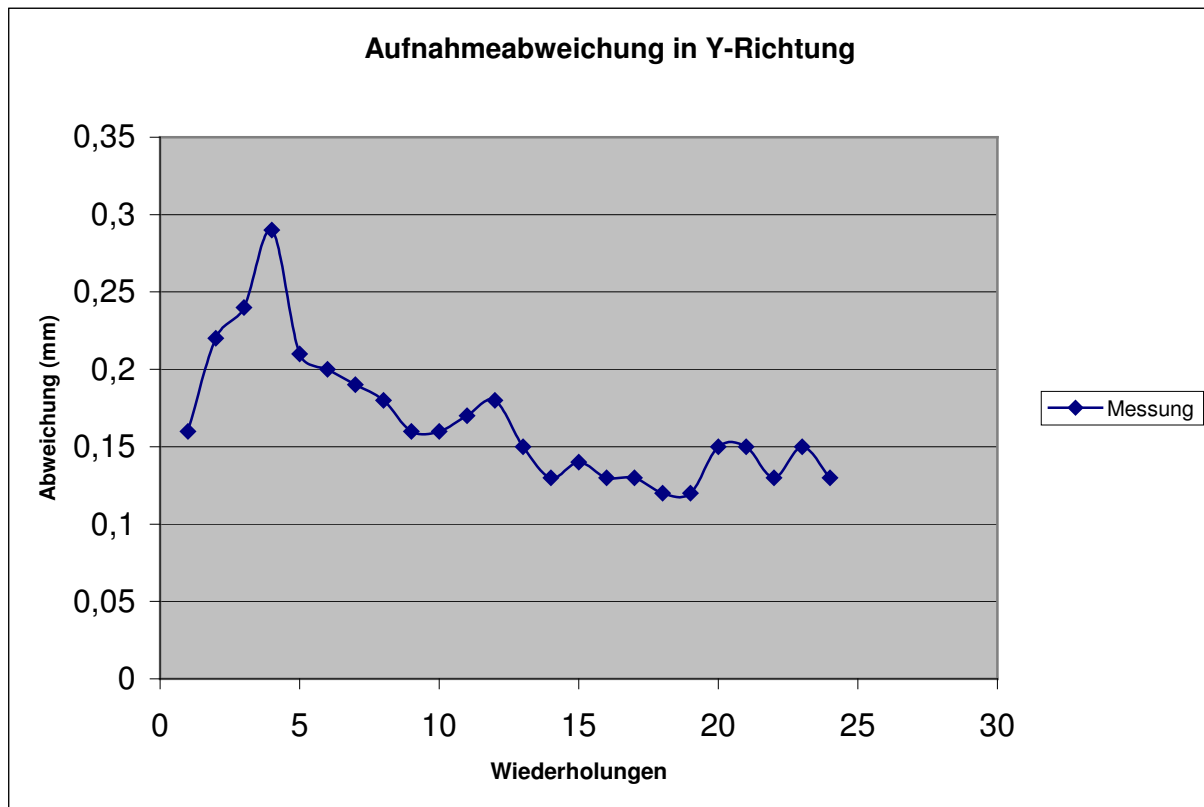
**Bild 50: Versuchsanordnung zur Erfassung der Positionierung des Greifers in Y-Richtung**

#### Versuchsdurchführung

Es wurden ein Versuch mit 24 Wiederholungen durchgeführt. Die verschiedenen Positionen werden in einem Programm nacheinander abgefahren. Es erfolgt eine Messung:

- Ausgangsposition
- Positioniergenauigkeitsprozess (Füllung des Pneumatikzylinders; Rückbewegung und Positionierung über die Zeit) für die Gewährleistung vergleichbarer Messbedingungen
- Aufnahme des Stringers
- Anfahren einer definierten Position
- Messung in Y-Richtung
- Ablage des Stringers





**Bild 51: Aufnahmeabweichung in Y-Richtung**

Bei der Aufnahme dieser Messung beeinflussen alle zuvor beschriebenen Bewegungen mit ihren einzelnen Abweichungen und Fehlerquellen das Ergebnis. Die größten Abweichungen entstehen hierbei aber durch den Einsatz der Magnete und deren Führungen. Die Abweichungen schwanken insgesamt um 0,2 mm. Es ist ein abnehmender Verlauf der Kurve zu erkennen. Mit erhöhter Anzahl der Messungen verkleinern sich die Abweichungen. Dies ist auf die verbesserte Reibung bzw. Schmierung bei steigender Betriebstemperatur in den Pneumatikzylindern zurückzuführen.

## 1.5 AP: Demonstrator

Um die Einbindung der am BIK entwickelten Geräte in einen Gesamtprozess aufzuzeigen, wurden die Geräte nach einer ersten Inbetriebnahme an der dem Institut zur Verfügung stehenden Portalanlage für eine Evaluierung des Gesamtprozesses dem CTC Stade zur Verfügung gestellt. Dazu waren einige steuerungstechnische Erweiterungen der Geräte erforderlich. Die Geräte sind am BIK in der Weise aufgesetzt worden, dass eine externe Prozessoreinheit die Steuerung und Regelung der einzelnen Funktionen und die Kommunikation mit der Portalanlage übernimmt. Diese externe Rechereinheit konnte aber nicht für die Evaluierung des Demonstrators bei dem CTC Stade genutzt werden. Zu diesem Zweck sind für die einzelnen Geräte, soweit notwendig, eigene Mikroprozessorcontroller aufgesetzt worden. Diese werden zur Steuerung der Greifer in Abstimmung mit der vorhandenen Portalanlage am CTC Stade benötigt.

Das Demonstratorbauteil des CTC Stade ist eine Viertelschale in den Abmessungen 2m x 3,5m. Die Ablage der textilen Halbzeuge erfolgt auf einem positiv, einseitig gekrümmten Preformträger. Wichtige Kriterien für die Beurteilung der Geräte sind die Ablagegenauigkeiten und mögliche Einflüsse oder auf das jeweilige Halbzeug.

Es werden folgende Geräte zur Evaluierung der Gesamtprozesskette vom CTC Stade getestet:

- Spanngreifer,
- Rollengreifer,
- Stringergreifer,
- Siegelkittableger.

### 1.5.1 Spanngreifer

Da der Spanngreifer eine untergeordnete Rolle in der Prozesskette zur Herstellung des Demonstrators spielt, sind hier nur einige grundlegende Versuche durchgeführt worden. Diese sind in Zusammenarbeit von BIK und CTC ausgewertet worden. Die entsprechenden Ergebnisse sind in Kapitel 1.3.5 dokumentiert.

### 1.5.2 Rollengreifer

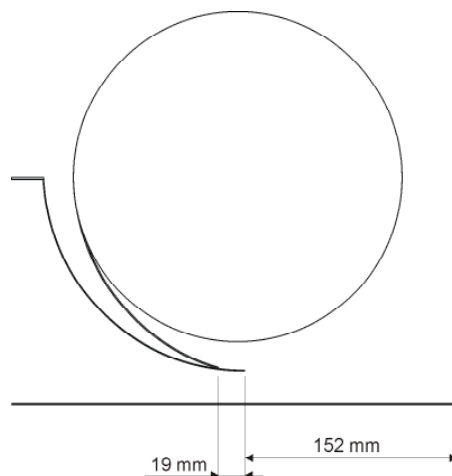
Der Rollengreifer spielt in der automatisierten Preformfertigung großflächiger Bauteile eine zentrale Rolle. Daher wurden bei den Untersuchungen des CTC hier der Schwerpunkt gelegt.

Eine große Herausforderung ist die Inbetriebnahme und Übertragbarkeit des Gerätes auf die verschiedenen Roboteranlagen des BIK und des CTC gewesen. Um eine Synchronisation der Wickelachse mit dem Robotervorschub zu gewährleisten, ist eine echtzeitfähige Umrechnung der Vorschubgeschwindigkeit in die Motordrehzahl der Wickelachse zu implementieren. In Vorversuchen am BIK wurden zunächst geeignete Reglereinstellungen voreingestellt. Parallel dazu wurde ein Mikrocontroller zu Synchronisation und zur Ansteuerung der Zusatzfunktionen aufgesetzt.

Im Gegensatz zur geplanten Funktionalität des Rollengreifers am BIK sollen am CTC Zuschnitte statt Materialabschnitte abgelegt werden. Diese werden auf einem Cutter geschnitten und manuell auf eine leere Materialrolle aufgewickelt.

Als Versuchsmaterial wird ein  $\pm 45^\circ$ -Kohlefaser-Gelege verwendet, was im Vergleich zu anderen Halbzeugen eine extrem niedrige Biegesteifigkeit aufweist und zudem äußerst empfindlich gegenüber Verzerrungen und Verschiebungen ist.

Da die Preformträgerfläche gekrümmt ist, wird ohne Kontakt zwischen Greifer und Trägeroberfläche abgelegt. Es wird ein Abstand von 12mm eingerichtet.



**Bild 52: Ablageposition des Rollengreifers über dem Preformträger**

Die Ablagegenauigkeit wird manuell aufgenommen. Dazu wird eine Referenzlinie auf der Ablagelinie eingezeichnet. Nach der Textilablage wird die Abweichung der Schnittkante von der Ideallinie vermessen. Dieser Vorgang wurde in zwei Durchläufen, zwischen denen die Schnittkante erneut gerade geschnitten wurde, jeweils 15-mal wiederholt.



**Bild 53: Manuelle Erfassung der Schnittkantenlage relativ zur programmierten Startposition**

Aus diesen Messwerten wird dann die Streuung der Ablageposition berechnet. Wie man aus dem Bild schon erkennen kann, ergibt sich ein sehr großer Off-Set zwischen der Schnittkante des abgelegten Zuschnitts und der programmierten Ablageposition. Die manuell erfassten Messwerte sind in folgender Tabelle erfasst:

**Tabelle 6: Auflistung der Messwerte und Auswertung**

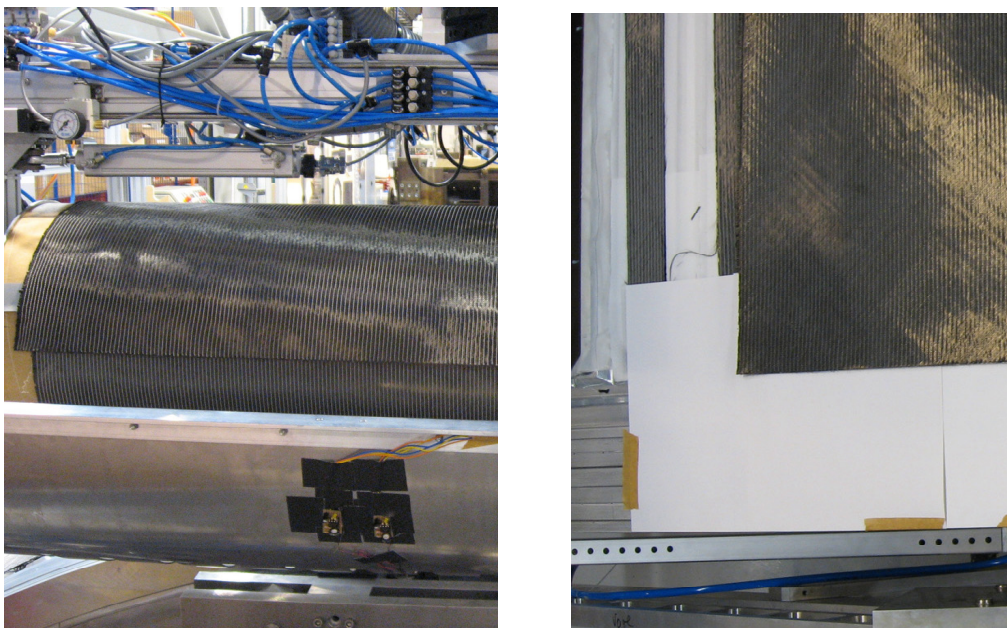
Messung	Abstand [mm]	
	Messreihe 1	Messreihe 2
1	177	176
2	178	178,5
3	176,5	177,5
4	179	177
5	176	175,5
6	175	177
7	177,5	177,5
8	178	176
9	178	176,5
10	177,5	177
11	179	178,5
12	177,5	178
13	180	177
14	177,5	178,5
15	175,5	178
Mittelwert	177,35	
Max	180	
Min	175	

Die Auswertung der Messwerte zeigt einen Off-Set von 177,35mm vom programmierten Startpunkt. Die Positionsstreuung der Zuschnittkante liegt bei +/- 2,5mm um diesen Off-Set.

Die Ergebnisse von Streuung und Off-Set entsprechen den gleichen Werten wie sie bei den Untersuchungen am BIK festgestellt wurden. Die Problematik ist in beiden Fällen ähnlich. Die Ansteuerung der Wickelachse erfolgt über ein externes Gerät. Die Drehzahl der Wickelachse ist zudem mit dem Robotervorschub synchronisiert. Um die Drehzahl des Motors vorgeben zu können, muss die Drehzahl der Roboterantriebe erfasst und über die externe Rechereinheit in die entsprechende Drehzahl der Wickelachse umgerechnet und an den Antrieb der Wickelachse übergeben werden. Dies mindert die Echtzeitfähigkeit und führt zu einer Totzeit im System. Diese Totzeit kann durch die Optimierung der Regelungsparameter, die Implementierung einer Vorsteuerung oder die Integration der Wickelachse in die Robotersteuerung fast vollständig eliminiert werden, so dass der Offset fast auf null reduziert werden kann<sup>1</sup>. Zu diesem Offset addieren sich die Toleranzen des Roboters, die Schneidtoleranz des Cutters und die Toleranzen, die sich aus dem manuellen Aufwickeln ergeben. Betrachtet man die reine Schwankung der Ablageposition von +/-2,5mm zeigt sich, dass mit diesem System die Toleranzspezifikation für die Ablageposition von Prepreghalbzeugen erfüllt wird<sup>2</sup>.

In einem weiteren Schritt ist untersucht worden, ob und welchen Einflüssen das Material unterliegt, wenn von der geraden Rolle auf einen gekrümmten Träger abgelegt wird. Es ist ebenfalls wieder ein +/-45°-Kohlefasergelege eingesetzt worden.

Nach dem Ablegen wurde der Abstand der Schnittkante zur Kante des Positionierträgers in der Mitte der Schnittkante und im Randbereich gemessen. Der Vorgang wurde zweimal wiederholt.



**Bild 54: Vergleich der Schnittkante vor und nach Ablage auf gekrümmten Träger**

Die daraus resultierenden Ergebnisse zeigt die folgende **Tabelle**.

<sup>1</sup> Nach Beendigung der Versuchsreihen am CTC wurden am BIK erneut Versuchsreihen mit anderen Einstellungen der kaskadierten Regelungsstruktur gefahren, bei denen der Offset nicht mehr aufgetreten ist.

<sup>2</sup> Prof. Dr.-Ing. A. Herrmann, Vorlesungsumdruck „Technologie der Faserverbundwerkstoffe“, Universität Bremen, 2006

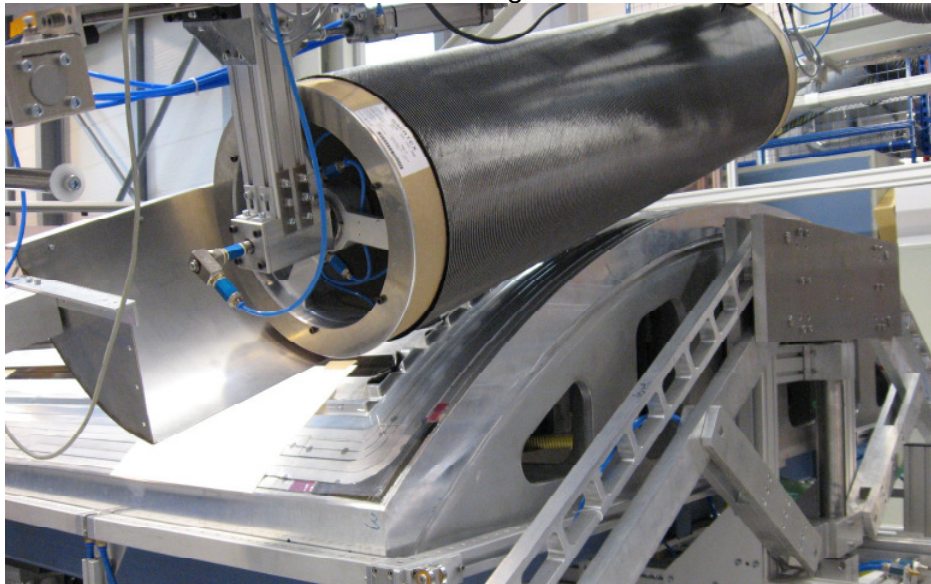
**Tabelle 7: Auflistung der gemessenen Positionen an verschiedenen Stellen der Schnittkante**

	linke Seite	Mitte	rechte Seite
Versuch 1	181	176	178
Versuch 2	180	178	182

Aus den Ergebnissen in der Tabelle kann man einen leichten Verzug der Schnittkante auf dem Positionierträger von einigen mm ablesen. Die Kante beschreibt eine leicht konvexe Wölbung.

Abschließend wurde noch die Ablage von Zuschnitten auf den Seitenbereich der stark gekrümmten Form untersucht, um ein mögliches Abgleiten der Zuschnitte feststellen zu können.

Die Textilrolle wurde auf ihrer Bahn so exakt wie möglich zum Positionierträger ausgerichtet. Start- und Zielpunkt wurden neu justiert, damit die Bahn parallel zur Kante des Positionierträgers verläuft. Auch das Textil wurde so gerade wie möglich auf die Textilrollen aufgerollt. Es wurde ein  $-45^{\circ}/+45^{\circ}$  biaxiales Gelege verwendet.



**Bild 55: Startposition des Greifers beim der Ablage auf dem Trägerrandbereich**

Das Textil wurde fünf mal ausgerichtet, aufgerollt und auf dem Positionierträger abgerollt. Danach wurde am Rand des Positionierträgers an 3 Stellen der Abstand des Textils zum Rand gemessen und in folgenden Tabelle aufgelistet. Es wurde in der Mitte des Positionierträgers, und jeweils an den Enden des Trägers gemessen.

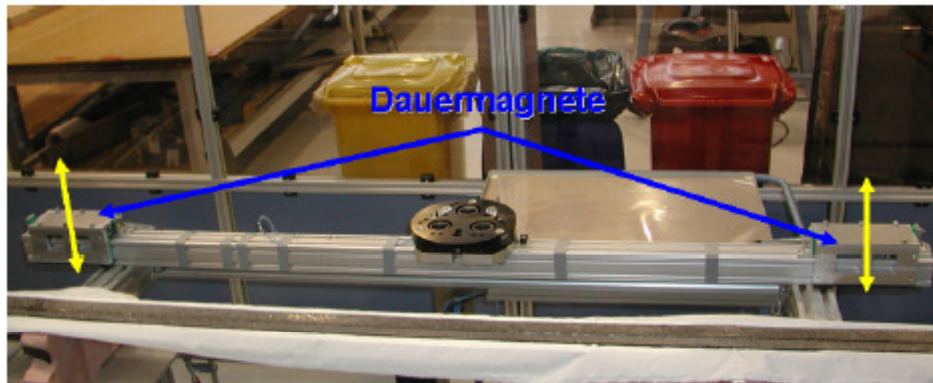
**Tabelle 8: Auflistung der Kantenposition an der Längskante des Preformträgers**

	Hinten	Mitte	Vorn
Reihe 1	172	172	173
Reihe 2	173	171	171
Reihe 3	172	171	169
Reihe 4	173	174	172
Reihe 5	171	170	170

Es konnte eine Abweichung von  $\pm 2$ mm festgestellt werden. Auch dies liegt in der Toleranz der bisher in der Serie eingesetzten Systeme.

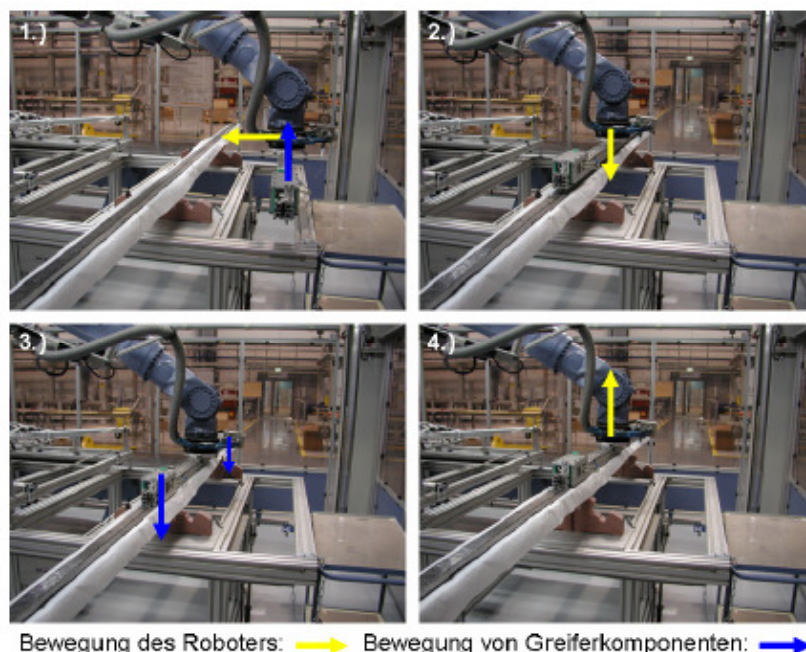
### 1.5.3 Stringergreifer

Der Stringergreifer dient dazu, die für den automatisierten Vakuumaufbau vorhandenen Stringerpakete in den Positionierträger einzulegen. Der Hauptbestandteil des Stringergreifers ist die Traverse, die aus einem Alu-Systemprofil besteht. Sie beherbergt die vier Hubzylinder und die beiden Magnetbrücken. Die Magnetbrücken wiederum sind mit je zwei Magnetstreifen, á fünf Dauermagnete, bestückt und können über jeweils zwei der pneumatischen Hubzylinder angehoben und abgesenkt werden. Die geometrischen Abmaße des Greifers liegen bei etwa 2.000mm in der Länge, ca. 220mm in der Breite über alles und ca. 120mm in der Höhe.



**Bild 56: Stringergreifer im Original**

Die Formstücke, in die die Stringerprofile eingelegt werden, bestehen aus Aluminium. Aus diesem Grund müssen auf die Formstücke Flacheisenprofile aufgebracht werden, an denen die Dauermagnete haften können. Für den Serieneinsatz müssten die Formstücke selbst aus einem magnetischen Material gefertigt, bzw. Eisenstücke direkt mit in die Formprofile eingearbeitet werden. Als weitere Alternative ist auch ein Greifer der mit Vakuum funktioniert, denkbar.



**Bild 57: Stringergreifer im Original Bewegungsablauf beim Aufnehmen eines Stringerpaketes**

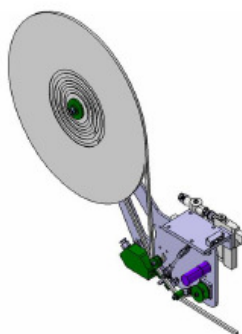
Der Bewegungsablauf beim Aufnehmen eines Stringerpaketes ist in Abbildung 2-19 dargestellt. Nach dem Andocken des Roboters wird das Werkzeug über dem Stringerpaket

in Position gebracht und die Dauermagnete, durch das Öffnen des entsprechenden Pneumatikventils, angehoben (vgl. Schritt 1 und 2). Anschließend wird der Stringergreifer so auf dem Stringerpaket positioniert, dass die Dauermagnete direkt über den aufgeklebten Eisenprofilen liegen, um dann die Magnete wieder abzusenken (Schritt 3). Danach kann das Stringerpaket angehoben und an seiner Zielposition wieder abgelegt werden (Schritt 4). Das Ablegen beginnt mit dem Abheben der Dauermagnete über die Pneumatikzylinder und endet mit dem Wegfahren des Roboters vom Werkstück.

#### 1.5.4 Siegelband – Abroller

Die grundlegenden Erkenntnisse der Wickelvorgänge und Synchronisation der Wickelachsen bei der Entwicklung des Rollengreifers konnten für die Umsetzung des Siegelband-Abrollers genutzt werden. Damit sind aus dem Projektverlauf direkt Ergebnisse verwertet worden.

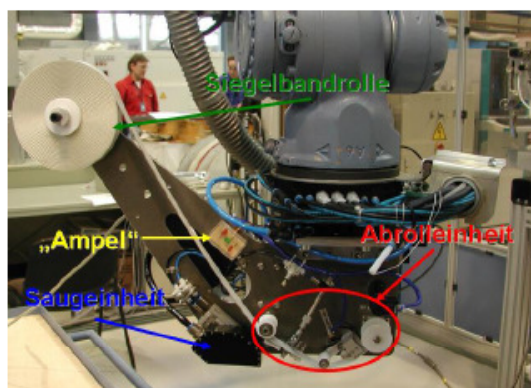
Der Siegelband – Abroller dient dazu, das auf Rollen gelieferte Dichtband (General Sealants 43MA 0,31cm x 1,27cm x 7,62m) nach dem Beschicken des Positionierträgers auf die Vakuumfolie aufzubringen, um den gesamten Aufbau gegenüber der Formschale abdichten zu können.



**Bild 58: 3D-Modell des Siegelband – Abroller**

Ausgelegt ist der Abroller für Rollen mit einem Durchmesser bis ca. 550mm (ca. 75m Bandlänge), z. Zt. werden allerdings von General Sealants nur Rollen mit 7,62m (25 ft.) Bandlänge angeboten. Daher erfolgen sämtliche Funktionsprüfungen und Untersuchungen auch nur mit diesem Rollentyp.

Zu den Funktionsgruppen des Abrollers gehören neben der eigentlichen Abrolleinheit, mit Andruckrolle, Führungsrolle, Wickerolle und Schneidvorrichtung auch noch eine Saugereinheit, die dazu dient, die Dichtfläche vor dem Aufbringen des Tapes von Staub und Faserresten zu reinigen. Betrieben wird die Saugereinheit nach dem Venturi-Prinzip mit Druckluft, die über das Werkzeugwechselsystem zur Verfügung gestellt wird.

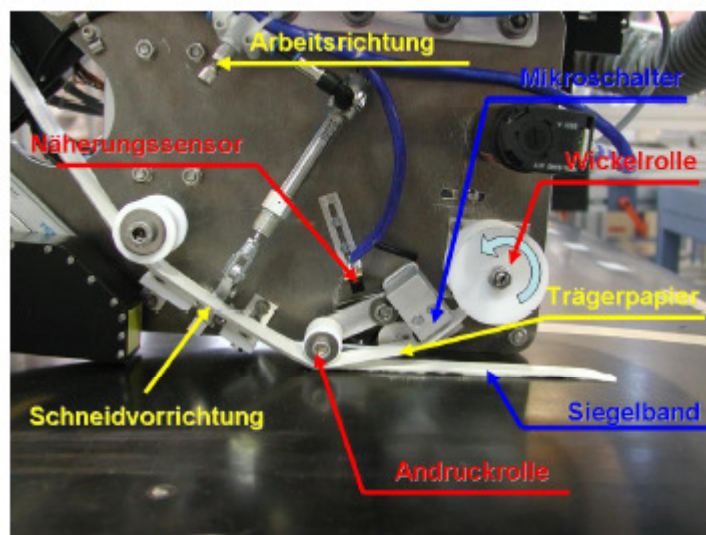


**Bild 59: Siegelband - Abroller am Roboter montiert**

Über die Ampel kann der jeweils optimale Abstand zwischen der Andruckrolle und der zu versiegelnden Oberfläche eingestellt werden. Ist der Abstand zu gering leuchtet das obere

rote LED-Paar; ist der Abstand zu groß leuchtet das untere rote LED-Paar. Stimmt der Abstand wird dies durch die beiden grünen LED's angezeigt. Die Ermittlung des Abstandes geschieht über die, an einer Schwinge montierte Andruckrolle und einen optoelektronischen Reflexkoppler (CNY 70), der als Näherungssensor fungiert. Der Näherungssensor reagiert auf den Abstand der Schwinge und liefert so das Signal zur Steuerung der Ampel. Der eigentliche Abrollvorgang kommt ohne Antrieb aus. Allein durch die Haftung des Dichtbandes auf der Oberfläche und die Bewegung des Abrollers durch den Roboter wird das Band von der Vorratsrolle abgewickelt. Durch die federgelagerte Andruckrolle wird das Tape auf die Oberfläche aufgebracht und angedrückt. Das Trägerpapier wird über eine, per Zahnriemen angetriebene, Wickelrolle vom Dichtband abgezogen und aufgewickelt. Dabei läuft die Wickelrolle stets mit konstanter Drehzahl und wickelt jeweils nur so lange, wie das Trägerpapier noch nicht straff gespannt ist.

Die Spannung des Trägerpapiers wird über einen Rollen-Mikroschalter bestimmt. Ist das Papier durch die Wickelrolle straff genug gespannt wird der Schalterkontakt geschlossen, die Rolle hört auf zu wickeln; das Siegelband wird weiter aufgebracht, die Spannung des Papiers lässt nach, der Schalter öffnet wieder, die Wickelrolle wickelt das Trägerpapier wieder auf, bis der Schalter sich wieder schließt, usw. Die Drehzahl der Wickelrolle lässt sich über ein Potentiometer der gewählten Bewegungsgeschwindigkeit des Roboters anpassen.



**Bild 60: Funktionselemente des Siegelband – Abrollers**

Nach dem Aufbringen wird das Dichtband vor der Andruckrolle über eine, per Pneumatikzylinder, angetriebene Schneidvorrichtung von der Vorratsrolle abgeschnitten. Der noch überstehende Rest an Siegelband zwischen Andruckrolle und Schneide wird schließlich noch auf die Oberfläche aufgebracht.

Zum Zeitpunkt der Anlieferung bestand die Schneidvorrichtung aus einer feststehenden und einer bewegten Schneide, vergleichbar mit dem Funktionsprinzip einer Schere. Dadurch kommt es beim Schneidvorgang dazu, dass nicht nur das Siegelband, sondern auch das Trägerpapier durchtrennt wird. In der Folge muss nach jedem Schneiden die Wickelrolle geleert und das Trägerpapier für einen neuen Arbeitsgang wieder eingefädelt werden. Aus diesem Grund wurde eine neue Scheidengeometrie realisiert, die anstatt der Schneide auf der beweglichen Seite, aus einer ebenen Fläche besteht. Dadurch soll es möglich sein das Dichtband zu trennen, ohne das Trägerpapier zu beschädigen und so direkt mit dem nächsten Siegelvorgang zu beginnen.

Die Ansteuerung des gesamten Endeffektors beschränkt sich durch die Verwendung eines integrierten Mikrocontrollers, auf insgesamt drei digitale Eingänge, die als Schließer ausgeführt sind.





Jeweils ein Eingang wird für die Funktionen Saugen, Schneiden und Siegeln benötigt. Für eine spätere Serienanwendung ist es wünschenswert, die z. Zt. nur über die Ampel zur Verfügung stehende optische Rückmeldung über den Abstand zur Oberfläche, über zwei digitale Ausgänge auch der Robotersteuerung verfügbar zu machen. Damit ist dann die Realisierung einer eigenständigen Abstandskorrektur des Roboters innerhalb des Arbeitsganges möglich.

Neben den digitalen Eingängen wird für den Betrieb des Abrollers noch eine 24 Volt Gleichspannungsversorgung mit ca. 1,5 Ampere und eine Druckluftversorgung mit mindestens 6 bar benötigt.

Da die Saugereinheit nach dem Venturiprinzip funktioniert, muss neben dem Betriebsdruck der Luftversorgung, auch auf einen ausreichenden Volumenstrom geachtet werden. Die Stromstärke für die Gleichspannungsversorgung setzt sich aus max. 400 mA für die Logik, 440 mA für die Magnetventile und etwa 500 mA für den Antrieb der Wickelrolle zusammen.

In den vom CTC durchgeführten Untersuchungen waren folgende Parameter Schwerpunkt:

- Minimaler Kurvenradius,
- Gestaltung der Stossform,
- Wiederholgenauigkeit,
- Maximale Abrollgeschwindigkeit.

Zusammenfassend kann man feststellen, dass der mindest erforderliche Kurvenradius von 10mm ohne Beeinträchtigung der Dichtigkeit des Siegelbandes abgefahren werden kann. Die gemessene Weiderholgenauigkeit ist etwas ausserhalb der erwarteten Grenzen, ist aber eher auf das Materialverhalten als auf unzulängliche Funktion des Gerätes zurückzuführen. Die maximale Abrollgeschwindigkeit liegt momentan bei 0,1m/s. Dies ist aber auf Grund der Auslegung des Antriebsstrang begrenzt.

## 1.6 Literatur

[1] Milberg, J.; Götz, R.: *Weiches sicher greifen. Maschinenmarkt, 95 (1989), Nr. 44, S. 136-138.*

[2] Seliger, G.; Gutsche, C.: *Industrierobotergeführte Montage flächiger nicht formstabiler Fügepartner. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung, 86 (1991), Nr. 1, S. 24-28.*

[3] Gottschalk, T.; Stephan, J.: *Entwicklung von Greifern und Bewegungskomponenten für Textilien. Konferenz-Einzelbericht: airbag 2000, 3rd International Symposium on Sophisticated Car Occupant Safety Systems, Karlsruhe, Germany November 26-27, S. 17.*

[4] Steinke, O.; Stephan, J.: *Chancen und Risiken für das textile Greifen. Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung und Automatisierung, 96 (2001), Nr. 4, S. 201-204.*

[5] Bühler, G.; Dörfler, H.: *Automatische Handhabung großflächiger Werkstücke in der Maschenkonfektion. Maschenindustrie, 45 (1995), Nr. 3, S. 225-227.*

[6] Chen, X. Q.; Sarhadi, M.: *Investigation of electrostatic force for robotic layup of composite fabrics. Mechatronics, 2 (1992), Nr. 4, S. 363-373.*

[7] Monkman, G. J.: *Compliant robotic devices, and electroadhesion. Robotica, 10 (1992), Nr. 2, S. 183-185.*



- [8] Monkman, G. J.; Taylor, P. M.: *Electrostatic grippers, principles and practice. Konferenz Einzelbericht: 18th International Symposium on Ind. Robots, Lausann, CH April, S. 193-200.*
- [9] Stephan, J.: *Beitrag zum Greifen von Textilien. Diss. Technische Universität Berlin, 2001.*
- [10] Henschke, F.: *Greifen mikromechanischer Strukturen mit adhäsiven Hilfsstoffen. Feinwerktechnik und Messtechnik, 102 (1994), Nr. 9, S. 411-415.*
- [11] Hoischen, Hans: *Technisches Zeichnen, 27. Auflage, Cornelsen Verlag, Berlin, 1998.*
- [12] Hering, Ekbert; Martin, Rolf & Stohrer, Martin: *Physik für Ingenieure, 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1997*
- [13] Pahl, Gerhard; Beitz, Wolfgang; Feldhusen, Jörg; Grote, Karl-Heinz: *Konstruktionslehre – Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung, 5. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2003.*
- [14] Kuchling, Horst: *Taschenbuch der Physik, 16. Auflage, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1996.*
- [15] FAG OEM und Handel AG: *FAG Wälzlager Katalog WL 41 520/2 DB, Schweinfurt, 1996.*
- [16] Schnell, Walter; Gross, Dietmar; Hauge, Werner: *Technische Mechanik 2 Elastostatik, 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 1998.*
- [17] Neitzel, Manfred; Mitschang, Peter: *Handbuch Verbundwerkstoffe: Werkstoffe, Verarbeitung, Anwendung. Hanser Verlag, München 2004.*
- [18] Ehrenstein, Gottfried W.: *Faserverbund Kunststoffe: Werkstoffe, Verarbeitung, Eigenschaften. Hanser Verlag, München, 1992.*

## **2 Teilprojekt PROSA:**

Es wurde kein Beitrag zu diesem Teilprojekt geleistet.

## **3 Teilprojekt CFK-Produktionsform**

Es wurde kein Beitrag zu diesem Teilprojekt geleistet.