

DLR-IB 435-2013/ 88

Handgeführter Endeffektor für die automatisierte Handhabung von textilen Zuschnitten

G. Braun, A. Buchheim, F. Fischer, T. Gerngross

Institut für Bauweisen- und
Konstruktionsforschung
DLR Stuttgart

Dezember 2013

Seiten: 11

Tabellen: 0

Abbildungen: 21

Augsburg, im Dezember 2013

Institutsdirektor:

Bearbeiter:

.....
(Prof. Dr. H. Voggenreiter)

.....
(Georg Braun)

Abteilungsleiter:

.....
(Prof. Dr.-Ing. M. Kupke)

HANDGEFÜHRTER ENDEFFEKTOR FÜR DIE AUTOMATISIERTE HANDHABUNG VON TEXTILEN ZUSCHNITTEN

G. Braun, A. Buchheim, F. Fischer, T. Gerngross
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Bauweisen- und Konstruktionsforschung, Am Technologiezentrum 4, 86159 Augsburg, Deutschland

Zusammenfassung

Ein typischer Herstellungsprozess von CFK-Bauteilen erfordert die präzise und wiederholbare Handhabung von trockenen, textilen Halbzeugen, was derzeit vorwiegend durch manuelle Prozesse erfolgt. Für die Automatisierung dieser Arbeitsschritte wurden am Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie in Augsburg zwei Generationen von Endeffektoren entwickelt. Anwendungsszenarien stellten die Ablage von Textilien für einfach und doppelt gekrümmte Bauteilgeometrien dar.

Diese Arbeit beschreibt im ersten Teil Aufbau, Funktionen und Einsatzmöglichkeiten der Greifer. Dabei wird der Schwerpunkt auf eine neuartige Mensch-Maschine Schnittstelle gelegt, die eine Programmierung von Bewegungen über eine Handführung des Roboters ermöglicht. Im Paper werden Versuche zur Programmierung von Aufnahmebewegungen über die Handführung des Roboters beschrieben. Das Testszenario war hierbei eine Durchgangslage aus dem Plybook einer Druckkalotte. In praktischen Versuchsreihen wurde der Funktionsumfang geprüft und die Leistungsgrenzen ermittelt. Daraus wurden Optimierungsansätze abgeleitet, die eine Weiterentwicklung und einen zukünftigen Einsatz im Industrieumfeld ermöglichen. Die Versuchsergebnisse stellen einen Zwischenstand laufender Arbeiten dar.

1. EINLEITUNG

In der Luftfahrtindustrie hat die Entwicklung der neueren Flugzeugmodelle wie z.B. dem Airbus A350, A400M oder der Boeing B787 zu einem deutlichen Anstieg des Faserverbundanteils am Strukturgewicht geführt. Die dort eingesetzten CFK-Bauteile können Abmessungen von mehreren Metern erreichen bei zugleich besonders hohem Qualitätsanspruch.

Ein typischer Herstellungsprozess solcher CFK-Bauteile erfordert die präzise und wiederholbare Handhabung von trockenen, textilen Halbzeugen, was derzeit vorwiegend durch zeit- und kostenintensive, manuelle Prozessschritte erfolgt. Durch den zunehmenden Kostendruck und steigende Stückzahlen ist die Automatisierung der Handhabung [1] textiler Zuschnitte wirtschaftlich notwendig.

Eine automatisierte, wirtschaftliche Produktion erfordert die Minimierung von zeit- und kostenintensiven manuellen Tätigkeiten bei zugleich hoher Zuverlässigkeit und Wiederholbarkeit der Prozesse. Dabei müssen jedoch die entstehenden Einrichtungs- und Programmertätigkeiten in einem akzeptablen Rahmen bleiben. Existierende Automatisierungsansätze sind zumeist teilautomatisierte Insellösungen, bei denen ein erhöhter Programmier- und Einrichtungsaufwand notwendig wird.

Das Zentrum für Leichtbauproduktionstechnologie in Augsburg arbeitet an der Automatisierung der Prozesskette zur qualitätsgesicherten Herstellung von Faserverbundbauteilen aus trockenen Textilien mit anschließendem Infusionsprozess. Ein entscheidender Abschnitt dieser Prozesskette ist die Erstellung des Lagenaufbaus aus trockenen, textilen Zuschnitten. Zu diesem Zweck wurden zwei Generationen von Greif-

Endeffektoren entwickelt zusammen mit einer neuartigen Mensch-Maschine Schnittstelle, die eine Programmierung von Aufnahmebewegungen über die Handführung des Roboters ermöglicht.



BILD 1. Gesamtprozesskette

Dieses Paper stellt die beiden Greiferentwicklungen für den automatisierten Lagenaufbau von trockenen Textilien vor. Der mögliche Einsatz sowohl als eigenständige Greifer als auch in Kooperation erlaubt hohe Flexibilität hinsichtlich Zuschnittsgröße und -geometrie. Im Anschluss wird die Programmierung von Aufnahmebewegungen über die Handführung des Roboters beschrieben. In praktischen Versuchsreihen wird der Funktionsumfang geprüft und die Leistungsgrenzen ermittelt, um die Weiterentwicklung und einen zukünftigen Einsatz im Industrieumfeld zu ermöglichen.

2. ANWENDUNGEN

Der automatisierte Handhabungsvorgang wurde in einer Roboterzelle, der Technologie-Erprobungszelle TEZ, mit den Endeffektoren umgesetzt. Ausgangspunkt für den Prozessabschnitt „Handling, Preforming“ (BILD 1) ist ein textiler Zuschnitt, der auf einem Aufnahmetisch in bekannter Position und Orientierung liegt. Für den Lagenaufbau müssen die Endeffektoren den Zuschnitt aufnehmen, ggf. umformen, transportieren und ablegen. Je nach Zielgeometrie ist auch eine lokale Fixierung nötig (BILD 2).

Als Zielgeometrie wurde im ersten Schritt eine Form gewählt, deren Geometrie einem Teilstück einer Rumpfhalschale ähnelt. Auf BILD 2 ist dieses Teilstück

einer einfach gekrümmten Negativform dargestellt. Diese zylindrische Form hat einen Durchmesser von circa vier Metern.

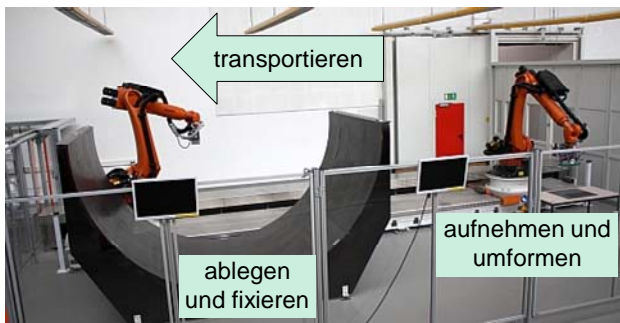


BILD 2. Technologieerprobungszelle (TEZ)

Es wurde sowohl das Ablagen von Textilien mit einem Endeffektor als auch das kooperierende Ablagen zweier Roboter untersucht [2]. Die letztgenannte Variante erhöht die Ablagerate erheblich und somit auch die Wirtschaftlichkeit der Anlage. BILD 3 zeigt beispielhaft die Ablage eines sechs Meter langen Zuschnitts in die Halbschalenform.



BILD 3. Kooperierendes Ablagen von textilem Halbzeug in Halbschalenform

Im zweiten Schritt wurde die Zielgeometrie durch eine doppeltgekrümmte Form ersetzt. Hierfür wurde exemplarisch das Formwerkzeug einer Druckkalotte verwendet (siehe BILD 16).

3. ENDEFFEKTOREN

Im Rahmen der Entwicklungstätigkeit wurden zwei Generationen von Greifern entwickelt. Hierbei stellt der Streifengreifer Gen2 (BILD 7) eine Weiterentwicklung mit erweitertem Funktionsumfang des Streifengreifers der ersten Generation (BILD 5) dar.

Beide Generationen der Streifengreifer bilden durch die Anordnung der Saugmodule streifenförmige Greifflächen. Diese können sowohl zum eigenständigen Greifen von kleineren Zuschnitten, als auch zum kooperierenden Greifen größerer Zuschnitte eingesetzt werden.

Als physikalisches Wirkprinzip wurde dabei bei beiden Greifern das Halten des Textils mittels Unterdruckkräften unter Verwendung von Haftsaugern gewählt [1]. Der

schematische Aufbau der Saugmodule nach diesem Wirkprinzip ist in BILD 4 dargestellt.

Dieses Prinzip wurde im Vorfeld unter Verwendung eines Prototyps des späteren Saugmoduls mit unterschiedlichen Saugern evaluiert [2].

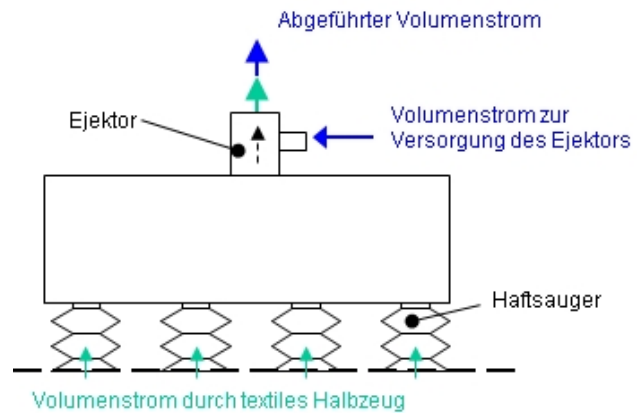


BILD 4. Schematischer Aufbau des Saugmoduls

3.1. Streifengreifer

Der Streifengreifer der ersten Generation (BILD 5) besteht aus neun einzelnen Modulen, welche jeweils durch eine Drehachse mit den Nachbarmodulen verbunden sind (BILD 6). Über diese Achse können die einzelnen Module relativ zu ihren Nachbarmodulen zueinander abgewinkelt werden. Mit Hilfe einer Feststelleinrichtung (BILD 6) ist es dann möglich, die Winkelstellung manuell zu fixieren.

Durch diese Einstellmöglichkeit können die Saugmodule so zueinander abgewinkelt werden, dass die Krümmung einer Ablagefläche angenähert wird, um eine möglichst formkonturnahe Platzierung des Zuschnitts zu ermöglichen.

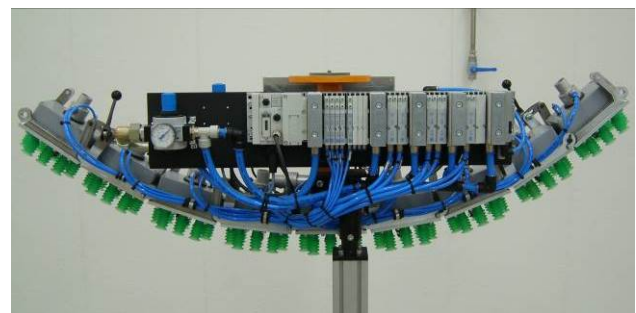


BILD 5. Streifengreifer der ersten Generation

Die Aufnahme einer streifenförmigen Textillage von einem speziellen Aufnahmetisch erfolgt im Fall einer gekrümmten Ablagegeometrie durch eine Aufrollbewegung. Das Halbzeug wird dabei sukzessive von den acht Haftsaugern der einzelnen Module während der Aufrollbewegung angesaugt. Bei dieser Aufrollbewegung wird der Zuschnitt dann entsprechend der Krümmung des Streifengreifers drapiert.

Anschließend wird der Zuschnitt vom Aufnahmetisch zur Werkzeugform transportiert und dort an der definierten

Position und Orientierung abgelegt.

Die Fixierung des einseitig bebinderten Zuschnitts erfolgt mittels eines integrierten Heizelementes (BILD 6), das in jedem Modul integriert ist. Dazu fährt das erhitzte Heizelement durch Einsatz eines einfachwirkenden Pneumatikzylinders aus.

Dieses Element drückt das Textil auf seine Unterlage und schmilzt den thermoplastischen Binder auf. Erst nach Beenden des Bindervorganges geben die Haftsauger den Zuschnitt frei.

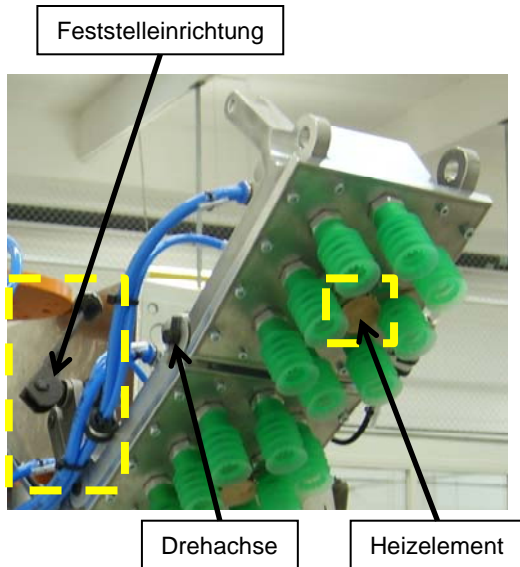


BILD 6. Feststelleinrichtung, Verbindung der Einzelmodule, Heizelement

Die Einstellmöglichkeiten des Streifengreifers der ersten Generation sind begrenzt durch die Tatsache, dass die Module lediglich durch eine Drehachse mit dem Nachbarmodul verbunden sind.

Dadurch ist nur eine Krümmung in einer Ebene möglich. Für den Fall, dass die gegriffene Textilfläche im Winkel von 0° oder 90° zur Längsachse der einfachgekrümmten Form abgelegt wird, ist dieser Einstellbereich ausreichend.

Wird die gegriffene Fläche des Zuschnitts im Winkel zwischen 0 und 90° z. B. im Winkel von 45° winklig zur Längsachse der Rumpfhalschalenform abgelegt, so ist es mit dem Streifengreifer der ersten Generation nicht mehr möglich die gegriffene streifenförmige Textilfläche äquidistant zur darunterliegenden Formoberfläche abzulegen.

3.2. Streifengreifer Gen2

Aus diesem Grund und der Zielstellung den Einrichte- und Programmieraufwand zu minimieren, wurde die zweite Generation des Streifengreifers entwickelt.

Der Streifengreifer Gen2 (BILD 7) bietet die Möglichkeit, die Einstellung der Winkelausrichtung der Saugmodule untereinander automatisch vornehmen zu lassen. Weiterhin ist es alternativ möglich, ein Teachen der Punkte für die Aufnahme des Zuschnittes durch eine

Handführung des Endeffektors durch den Menschen vorzunehmen.

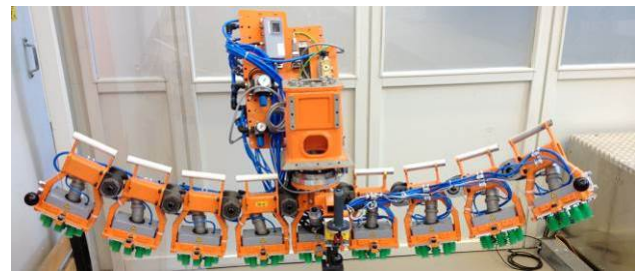


BILD 7. Streifengreifer Gen2

3.2.1. Mehrdimensionale Verstellung

Die neun Saugmodule sind bei dieser Ausführung durch Kugelgelenke (BILD 8) miteinander verbunden. Diese können mit einem Fixierelement in Form einer Sechskantmutter (BILD 9) blockiert oder freigegeben werden.

Aus den Kugelgelenkverbindungen ergeben sich neue Möglichkeiten der Winkelverstellung der Saugmodule zueinander. Diese Möglichkeiten werden nur durch die konstruktiven Gegebenheiten im Bereich der Gelenke begrenzt.

Beide Generationen des Streifengreifers wurden primär für die Zusammenarbeit mit Negativformen entwickelt.

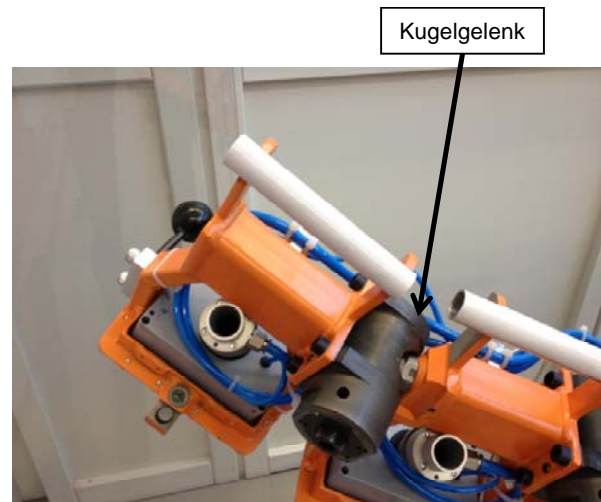


BILD 8. Modulbefestigung des Streifengreifers Gen2

3.2.2. Messvorrichtung

Für die Aufnahme eines Zuschnittes muss die Winkelausrichtung der Saugmodule entsprechend der Geometrie der Ablagefläche erfolgen.

Hierfür muss zunächst die genaue SOLL-Winkelausrichtung der Module vor dem Einstellvorgang ermittelt werden, um nachfolgend die Korrekturbewegungen der einzelnen Saugmodule berechnen zu können.

Für die Ermittlung der unbekanntenen IST-Winkelausrichtung wurde die in BILD 9 dargestellte Messvorrichtung entwickelt.



BILD 9. Messvorrichtung

Das Messprinzip wird in BILD 10 dargestellt. Der Roboter bewegt ein reflektierendes Rohr (BILD 9, BILD 10) nacheinander in den Lichtstrahl zweier Sensoren. Wenn der reflektierte Lichtstrahl vom Sensor erfasst wird, werden jeweils die Koordinaten bezüglich eines definierten Koordinatensystems gespeichert. Die Schutzrechte für das zugrunde liegende Messverfahren wurden erteilt [4].

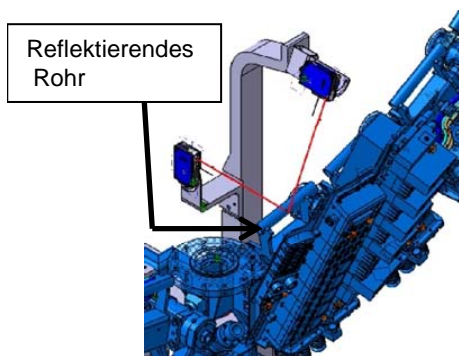


BILD 10. Messprinzip

Die Messungen werden mehrmals wiederholt. In Verbindung mit dem Koordinatensystem des Roboters lässt sich daraus die IST-Winkelausrichtung der Saugmodule bestimmen.

Aus der gegebenen SOLL-Winkelausrichtung und der ermittelten IST-Winkelausrichtung kann nun die Korrekturbewegung ermittelt werden.

Dieser Vorgang wird mehrfach wiederholt, um die IST-Winkelausrichtung aller Saugmodule sukzessive zu bestimmen.

3.2.3. Einstellvorrichtung

Mit den berechneten Korrekturwerten der Saugmodulausrichtung wird dann in der Einstellvorrichtung die Winkelausrichtung der benötigten Saugmodule korrigiert.

Die Einstellvorrichtung ist auf BILD 11 dargestellt.

Beim Einstellvorgang wird das einzustellende Saugmodul zunächst in der Vorrichtung vorpositioniert. Anschließend wird der Steckschlüssel der Schraubmaschine auf die Sechskantmutter (BILD 9) aufgesteckt. Danach wird die Sechskantmutter gelöst und das Modul in der Vorrichtung gespannt.

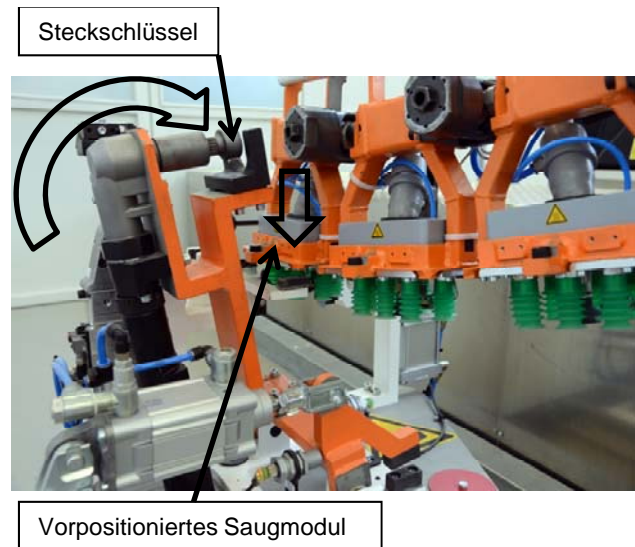


BILD 11. Einstellvorrichtung

Der Roboter wird nun so bewegt, dass die Winkelausrichtung des eingespannten Moduls zu seinem schon eingestellten Nachbarmodul der Soll-Winkelausrichtung entspricht. Anschließend wird die Winkelausrichtung des eingespannten Moduls zum vorhergehend eingestellten Modul durch Anziehen der Sechskantmutter fixiert. Die Vorrichtung gibt im Anschluss das eingespannte Saugmodul frei.

3.2.4. Modulaufbau

Das Saugmodul besteht wie in Kapitel 3. schematisch beschrieben aus Haftsaugern, einer Sammelbox zur Unterdruckverteilung, einem aufgesetzten Bogen zur Strömungsführung und einem Ejektor als Unterdruckerzeuger (BILD 12).

In BILD 13 ist die Unterseite eines Saugmoduls des Streifengreifer Gen2 dargestellt.

Neben den acht flexiblen Haftsaugern, wie sie auch schon bei den Saugmodulen der ersten Generation vorhanden sind, ist zusätzlich ein biegesteifer Haftsauger vorhanden. Dieser Haftsauger dient dazu, aufgrund der Haftreibung zwischen Sauglippe und Textil und der eigenen Biegesteifigkeit, einem seitlichen Verschieben des Zuschnittes unter dem Modul entgegenzuwirken.

Das Heizelement dient hier ebenfalls der Fixierung des abgelegten Zuschnittes.

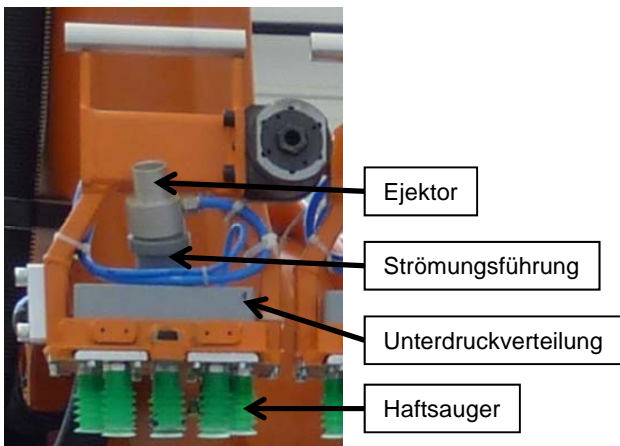


BILD 12. Seitenansicht Saugmodul

3.2.5. Handführung

Mittig und an den Enden der Saugmodulketten ist jeweils ein Knauf angebracht (BILD 15, links), welche es dem Menschen ermöglicht, Kräfte in den Endeffektor einzuleiten. Diese eingeleiteten Kräfte und die daraus resultierenden Momente werden mit Hilfe eines Kraft-Momenten-Sensors (BILD 15, rechts) und zugehöriger Auswerteelektronik in ein elektrisches Signal umgewandelt und dann in der Robotersteuerung verarbeitet [5]. Diese elektrischen Signale werden als Steuersignale interpretiert und der Endeffektor entsprechend dieser Interpretation vom Roboter bewegt.

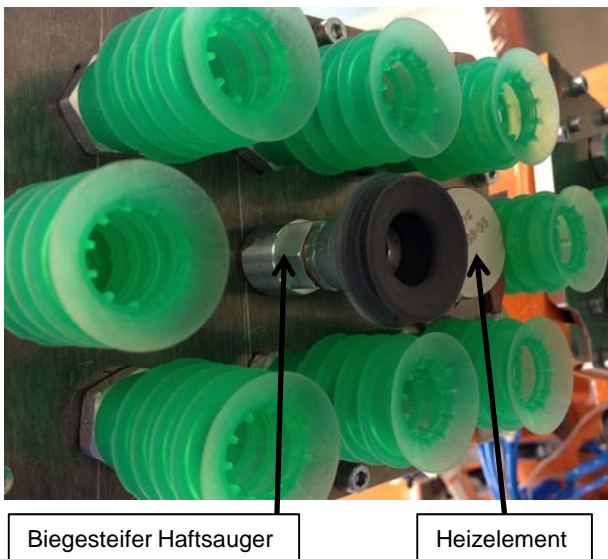


BILD 13. Unterseite des Saugmoduls

Die Handführung wird zum Teachen von Posen verwendet. Unter einer Pose versteht man hier die Position und Orientierung des Tool Center Points (TCP) des Endeffektors bezüglich eines Bezugskoordinatensystems.

Dabei können sowohl einzelne Posen als auch eine Folge von Posen für die Aufnahme von Zuschnitten erfasst werden.

Das Teachen der Posen erfolgt in der Art, dass das jeweilig betrachtete Saugmodul an die gewünschte

Position und Orientierung auf dem Zuschnitt bewegt wird. Die manuelle Führung des Endeffektors erfolgt dabei immer beidhändig (BILD 14). Zur Bewegungsführung des Endeffektors werden die auf BILD 15 dargestellten Bedienelemente verwendet.



BILD 14. Handführung des Endeffektors

Die Pose wird nach Betätigung eines Tasters „Teachen Ein Aus“ auf dem mittleren Handgriff (BILD 15, rechts) abgespeichert.

Nach diesem Schema wird für jedes Saugmodul die Pose bzw. eine Folge von Posen für eine Bewegung zur Aufnahme des Textils abgespeichert. Mit dem Schalter „Teachen Bahn Punkt“ kann man von der Aufnahme von einzelnen Posen zur Aufnahme von Folgen von Posen umschalten.

Mit Hilfe einer oder mehrerer Folgen von Posen wird später die Bewegungsbahn für die automatische Aufnahme des Zuschnittes generiert.

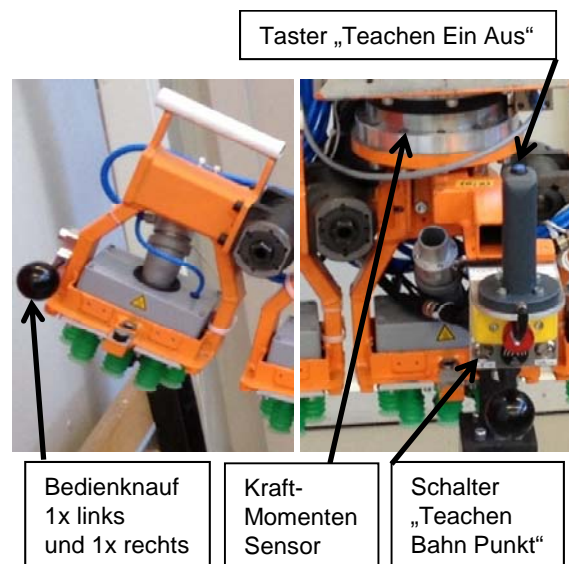


BILD 15. Bedienelemente und Kraft-Momenten-Sensor

Die Sicherheit des Bedieners in der Zelle wird durch einen besonderen Betriebsmodus der Zelle gewährleistet. Dieser Modus wird mit Hilfe eines Schlüsselschalters eingeschaltet.

In diesem Betriebsmodus werden virtuelle Volumen definiert, welche die Bewegungsfreiheit des Endeffektors

einschränken. Der zweite Roboter auf der Linearachse wird gesperrt. Die Bewegung auf der Linearachse, auf denen die Roboter verfahren können, wird ebenfalls unterbunden und die Geschwindigkeit, mit der sich der Endeffektor bewegen kann, wird herabgesetzt. Die maximale Geschwindigkeit beträgt hier 250mm/s [6].

Weiterhin ist am Endeffektor ein sogenannter Zustimmtaster vorhanden. Dieser wird durch die Auswahl dieses Betriebsmodus aktiviert und lässt Bewegungen am Endeffektor lediglich solange zu, wie dieser vom Bediener in einer definierten Stellung gehalten wird.

Zusätzlich muss ein zweiter Bediener eine Bestätigungstaste gedrückt halten, damit eine Bewegung des Endeffektors möglich ist.

4. HANDGEFÜHRTES GREIFEN

Die Programmierung von Bewegungsabläufen eines Roboters erfolgt vielfach über das Teach-In-Verfahren (kurz: Teachen). Dabei werden bisher unter Verwendung einer Bedieneinheit durch Tastendruck oder Einsatz einer 3D-Maus Posen im Raum angefahren und gespeichert.

Durch die Integration eines Kraft-Momenten-Sensors in den Streifengreifer Gen2 wurde es nun möglich, eine Handführung zu realisieren. Da für diese Art der Bedienung eines Endeffektors keine Erfahrungsgrundlage vorhanden war, wurde in dieser Untersuchung die handgeführte Aufnahme eines Zuschnitts als Testszenario gewählt.

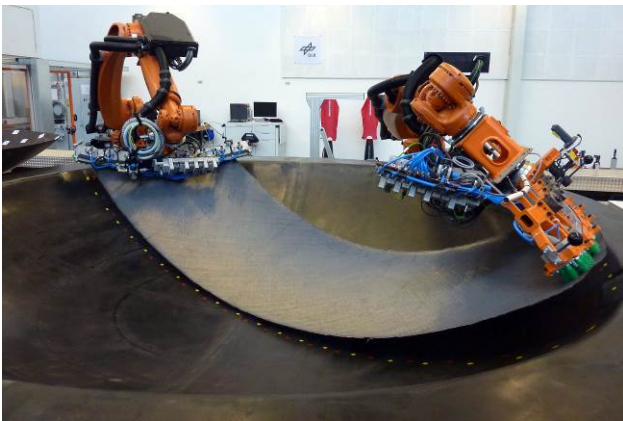


BILD 16. Kooperierende Ablage in Druckkalottenform

Ein Ziel bei der Entwicklung des Endeffektors war die vereinfachte Einrichtung und Programmierung komplexer Bewegungsabläufe. Um dem Rechnung zu tragen, wurden die Versuche am Beispiel einer Durchgangslage aus dem Plybook einer doppelt gekrümmten Druckkalotte durchgeführt (siehe BILD 16). Resultierend aus der doppelten Krümmung der Ablagegeometrie ist hier bei der Aufnahme ein einfaches Abrollen des Greifers nicht ausreichend (vgl. Kap. 3.1), sondern eine Rotation um mehrere Achsen erforderlich. Bei Einsatz der Handführung war daher eine Vereinfachung des Teachvorgangs zu erwarten. Des Weiteren konnten an einem Beispiel die Besonderheiten eines handgeführten Endeffektors untersucht werden.

4.1. Versuchsziel

Das Ziel der Versuche war die Umsetzung und Bewertung

eines möglichen Anwendungsfalls der Handführung (Zuschnittsaufnahme) im Fertigungsprozess von Bauteilen aus Faserverbundwerkstoffen.

Im Rahmen des Testszenarios sollte eine Überprüfung sämtlicher Greiferfunktionen erfolgen. Dabei wurde der Schwerpunkt auf die Dokumentation der aus der Handführung resultierenden Effekte gelegt. Dies ermöglichte einen Vergleich mit der Standardmethode des Teachens ohne Handführung.

Aus den Versuchsergebnissen und einer nachfolgenden Bewertung sollten Optimierungsansätze für die Handführung und ihre Integration in den Fertigungsprozess aufgezeigt werden.

Die Ergebnisse stellen einen Zwischenstand laufender Arbeiten dar und bilden die Basis für die Weiterentwicklung des handgeführten Greifers.

4.2. Versuchsvorbereitung

Für die positionsgenaue, robotergestützte Ablage eines Zuschnitts in einer Werkzeugform ist das Wissen über die Relativposition von Greifer und Zuschnitt unerlässlich. Die herkömmliche Prozessvorbereitung erfordert daher bereits bei der Planung der Zuschnittsaufnahme die Festlegung der einzelnen Saugmodule relativ zum Zuschnitt. Dazu sind die vollständigen CAD-Daten von Aufnahmetisch, Endeffektor bzw. Roboterzelle, Werkzeugform und Plybook des Bauteils erforderlich. Des Weiteren muss die Position und Orientierung dieser Objekte im Raum eingemessen und in ein gemeinsames Koordinatensystem überführt werden.



BILD 17. Markierung Ablageposition (rot/gelb) und Position der Module auf Zuschnitt (weiß)

In der vorliegenden Untersuchung lag der Fokus auf den handgeführten Aufnahmebewegungen und weniger auf der sequentiellen Abfolge der einzelnen Prozessschritte. Die Arbeitsschrittabfolge wurde daher zur Vereinfachung umgekehrt. So war es möglich, in der Werkzeugform die einzelnen Modulpositionen des Greifers auf dem Zuschnitt zu bestimmen und zu markieren.

Die Herstellung des in den Versuchen verwendeten Zuschnitts erfolgte mit einem Rollmesser und Schablone von Hand. Dabei kam ein biaxiales Gelege zum Einsatz (Saertex +45/-45 HTA 6K 540 g/m², einseitig beidert).

Dies wurde abweichend vom Gewebe, das in der Industrie bei der Herstellung dieses Beispielbauteils eingesetzt wird, ausgewählt, da es gute Drapiereigenschaften aufweist. Trotzdem zeigte sich bei der Ablage des Zuschnitts in der Form, dass die Drapierbarkeit gegenüber dem Gewebe verringert ist. Um ein planes Anliegen des Textils auf der Formoberfläche zu erreichen, wurde die Ablageposition geringfügig angepasst. Der maximale seitliche Versatz zur Sollposition betrug an den Enden des Zuschnitts 55 mm. In BILD 17 ist in roter gestrichelter Linie die Sollposition markiert. In Gelb ist die angepasste Position des Zuschnitts zu erkennen.

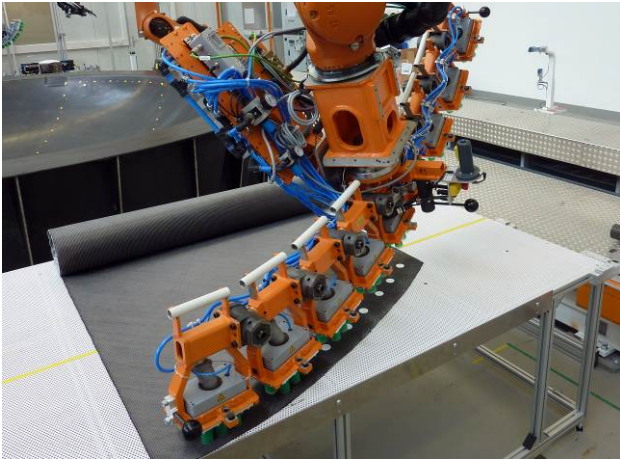


BILD 18. Versuchsanordnung

Weitere notwendige Arbeitsschritte in der Versuchsvorbereitung waren:

- 1) Vorbereitung der Werkzeugform für die Nutzung des Laserprojektors: Anbringen von Targets für das Einmessen der Relativposition Laserprojektor/Form. Aufbereitung der CAD-Daten des Zuschnitts für die Steuerungssoftware des Laserprojektors.
- 2) Projektion der Ablageposition auf die Werkzeugformoberfläche.
- 3) Händische Ablage des Zuschnitts in der Werkzeugform mit Klemmleisten (Anpassung der Ablageposition: siehe oben).
- 4) Manuelle Anpassung der erforderlichen Greifermodule (Anzahl: 5) an die Ablagegeometrie, so dass die Auflagefläche der Faltenbälge parallel zu Werkzeugformoberfläche orientiert war. Auf eine automatische Ausrichtung der Module wurde im ersten Schritt verzichtet, da dies ein aufwendiges Einmessen von Position und Orientierung der Werkzeugform notwendig gemacht hätte.
- 5) Markierung der einzelnen Modulpositionen auf dem Zuschnitt durch selbstklebende Marker (Kontaktpunkte der zwei äußeren Faltenbälge jedes Moduls; siehe BILD 17).
- 6) Manueller Transfer des Zuschnitts auf den Aufnahmetisch. In dieser Versuchsanordnung wurde zunächst nur eine Seite des Zuschnitts betrachtet. Aus diesem Grund wurde das andere Ende aufgerollt (siehe BILD 18).
- 7) Kalibrierung des Kraft-Momenten-Sensor (nach einer Verstellung der Modulausrichtung für die Nutzung der Handführung notwendiger Arbeitsschritt).

4.3. Versuchsdurchführung

Vor der Durchführung jedes Versuchs wurde der vorbereitete Zuschnitt in einer definierten Position auf dem Aufnahmetisch platziert. Im Folgenden wurde der Greifer unter Verwendung der Handführung modulweise auf den Zuschnitt geführt, so dass die Position der Markierungen mit den Auflageflächen der entsprechenden Faltenbälge übereinstimmte. Diese Bewegungsdaten sind die Grundlage für die Erstellung des Roboterprogramms.

Da es verschiedene Methoden zur Erzeugung eines Bewegungsprogramms für die Aufnahmebewegung gibt, wurden mehrere Versuchsreihen durchgeführt, bei denen die einzelnen Parameter variiert wurden. Diese sind im Folgenden dargestellt; in Klammern sind jeweils die möglichen Varianten des jeweiligen Parameters aufgeführt:

- Aktivierung der Druckluft beim Teachen (ja/nein)
- Art der Bedienung des Roboters (Handführung/Standardmethode)
- Kontinuität der Bewegung (Gesamt-/Einzelbewegungen)
- Art der Aufzeichnung (Pfad/Punkt)

Erläuterung der Parameter

Ist die Druckluft bereits beim Teachen aktiviert, wird der Zuschnitt mit den Faltenbälgen durch den anliegenden Unterdruck (vgl. Kap. 3.2.4.) angehoben.

Die Bedienung des Streifengreifer Gen2 ist sowohl per Handführung als auch mit der Standardmethode unter Nutzung der Bedieneinheit möglich.

Das Programm zur Aufnahme eines Zuschnitts kann zum einen in einer kontinuierlichen Bewegung ohne Unterbrechung generiert werden (= Gesamtbewegung). Zum anderen besteht die Möglichkeit Einzelbewegungen zu verwenden. Dabei wird für jeden Schritt von einem Modul zum nächsten ein eigenes Programm erzeugt. Die gesamte Bewegung entsteht dann durch die Integration aller Programme in ein Hauptprogramm.

Beim Streifengreifer Gen2 gibt es die Wahlmöglichkeit einer Pfad- oder Einzelpunktspeicherung. Im Gegensatz dazu ist bei dieser Untersuchung mit der Standardmethode nur eine Speicherung von Einzelpunkten möglich.

Bei der Einzelpunktaufzeichnung wurden jeweils der Kontaktpunkt eines Moduls mit dem Zuschnitt und ein Zwischenpunkt im Übergang zum nächsten Modul gespeichert (variiert bei den Messungen).

Allen oben beschriebenen Varianten liegt eine Art Rollbewegung zu Grunde (siehe BILD 19). Hierbei beginnt und endet die Bewegung an einem äußeren Modul. In einer letzten Versuchsreihe wurden zusätzlich zwei unterschiedliche Arten von Wippbewegungen getestet.

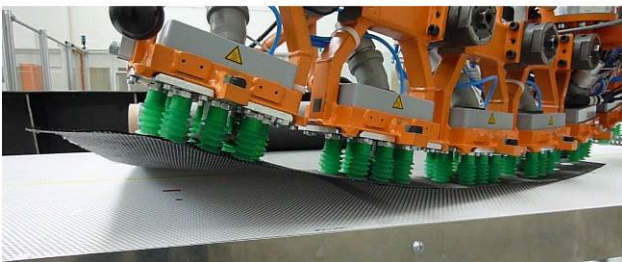
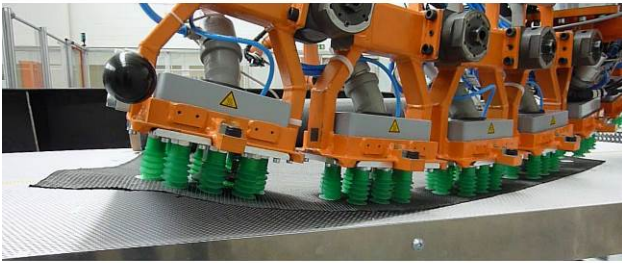
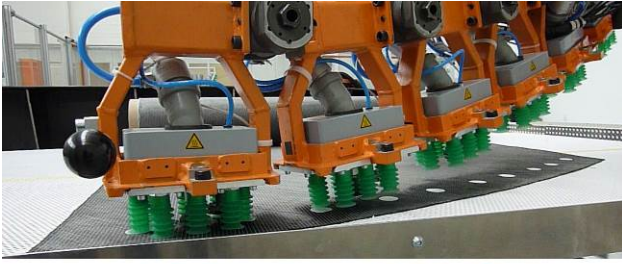


BILD 19. Rollbewegung bei Aufnahme des Zuschnitts

Der Druck in der Zuleitung zu den Ejektoren betrug bei allen Versuchsreihen 3 bar.

4.3.1. Ohne Druckluft, Handführung, Gesamtbewegung

Art der Aufzeichnung: Pfad

Im ersten Versuch wurde das Teachen mit deaktivierter Druckluft getestet. Dabei wurde die Aufnahmebewegung mit Handführung des Greifers in einer kontinuierlichen Rollbewegung erzeugt. Die Abfolge der Module ist in BILD 20 dargestellt. Diese wurde auch bei den in 4.3.2 bis 4.3.4 beschriebenen Versuchen verwendet.

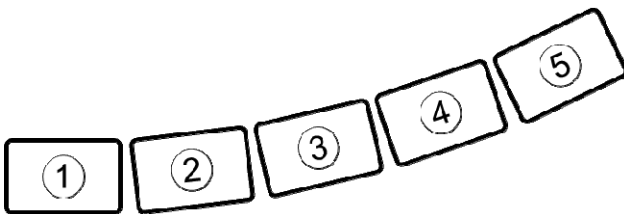


BILD 20. Abfolge der Module bei einer Rollbewegung

Auf Grund der Beobachtungen während des Prozesses (siehe Kap. 4.4.1.) wurde auf eine Fortsetzung der Versuche ohne Druckluft verzichtet und die weiteren Versuchsreihen mit aktivierter Druckluft durchgeführt.

4.3.2. Mit Druckluft, Handführung, Gesamtbewegung

Art der Aufzeichnung: Pfad/Punkt

Der zweite Versuch stellte eine Wiederholung des Tests aus Kap. 4.3.1. dar; mit dem Unterschied, dass in diesem Fall die Druckluft beim Teachen aktiviert war.

Für den Vergleich zwischen Handführung und Standardmethode wurden zusätzlich zur Pfadaufzeichnung Versuche mit einer Aufnahmebewegung basierend auf Einzelpunkten durchgeführt.

4.3.3. Mit Druckluft, Handführung, Einzelbewegungen

Art der Aufzeichnung: Pfad

Der Ablauf beim diskontinuierlichen Ansatz (= Einzelbewegungen) zur Erstellung einer Aufnahmebewegung des Zuschnitts stellte sich wie folgt dar:

Das Teachen des Bewegungsschrittes vom ersten zum zweiten Modul entspricht dem Teachvorgang einer Gesamtbewegung. Abweichend von letzterem wird die Bewegung aber an dieser Stelle unterbrochen, das Programm abgespeichert und ein neues Programm erstellt. Der Greifer verbleibt in der Zwischenzeit in der gleichen Position, damit End- und Startpunkt beider Bewegungen übereinstimmen. So wird ein stetiger Übergang zwischen den Einzelbewegungen erzeugt. Dieser Prozess wiederholt sich im Folgenden. Die kontinuierliche Abrollbewegung entsteht durch Einbindung aller so erzeugten Teilprogramme in ein Hauptprogramm.

Die Bahngenerierung auf Basis von Einzelpunkten wurde auf Grund des identischen Ablaufs mit der Versuchsreihe aus Kap. 4.3.2. nicht ausgeführt.

4.3.4. Mit Druckluft, Standardmethode, Gesamtbewegung

Art der Aufzeichnung: Punkt (Pfad nicht verfügbar)

Die Erstellung der Aufnahmebewegung mit der Bedieneinheit diente als Referenz, um Vergleiche mit der Handführung zu ermöglichen. Dabei wurde nur eine kontinuierliche Aufnahmebewegung untersucht.

Auf einen Versuch mit Unterteilung der Bewegung in Einzelschritte wurde verzichtet, da diese im Resultat identisch mit der in diesem Versuch erzeugten Bewegung ist. Die Programmerstellung aus Einzelschritten erfordert zusätzlich einen höheren Arbeitsaufwand und bietet aus diesem Grund keine Vorteile.

4.3.5. Variation der Bewegungsart

Art der Aufzeichnung: Pfad

Neben der Rollbewegung wurde zusätzlich auch eine weitere Bewegungsvariante in Form von zwei unterschiedlichen Arten von Wippbewegungen (siehe BILD 21) getestet.

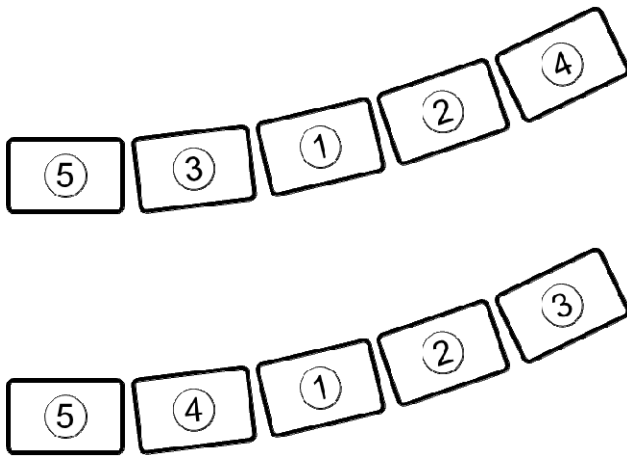


BILD 21. Abfolge der Module bei Wippbewegungen
(oben: Variante 1, unten: Variante 2)

Abweichend von der Rollbewegung beginnt die Aufnahme bei beiden Varianten am mittleren Modul. Der weitere Ablauf stellte sich wie folgt dar:

- 1) Nach jedem Einzelschritt erfolgt ein Richtungswechsel der Bewegung, so dass die Module schrittweise von Ihnen nach außen den Zuschnitt aufgreifen.
- 2) Zunächst wird der Zuschnitt von den Modulen auf einer Seite von innen nach außen aufgenommen. Dann folgen die Module der anderen Seite.

Beide Bewegungen wurden mit aktivierter Druckluft und in einer kontinuierlichen Bewegung geteacht.

4.4. Versuchsergebnis

Dieses Kapitel fasst die Ergebnisse der Versuche zusammen. Dabei wird zuerst auf übergreifende Beobachtungen und anschließend auf Besonderheiten der Einzelversuche eingegangen.

Folgende übergreifende Beobachtungen konnten bei den Versuchen festgehalten werden:

- Die Erstellung von Bewegungsprogrammen mit Hilfe einer Handführung wurde am Beispiel eines Anwendungsszenarios (Zuschnittsaufnahme) gezeigt.
- In mehreren Versuchsreihen wurde die Aufzeichnung von Pfaden und Punkten bei komplexen Bewegungsabläufen erprobt.
- Mit der Handführung ist die Erstellung von komplexen Bahnen unkompliziert und schnell möglich. Für den Einsatz ist über die Roboterbedienung hinaus wenig Vorwissen erforderlich.
- Das Materialverhalten kann während des Teach-Vorgangs berücksichtigt werden.
- Bei der Aufzeichnung von Pfaden werden auch durch den Anwender erzeugte ungewollte Kleinbewegungen des Endeffektors mitaufgezeichnet, die bei der Handführung nicht vermieden werden können.
- Mit der aktuellen Regelungseinstellung ist die Reaktion des Roboters auf Bewegungseingaben vergleichsweise träge. Dadurch tritt eine kurze

Verzögerung bzw. ein Nachlauf der Bewegung auf. Auch ist bei abrupter Richtungsänderung teilweise ein Aufschwingen des Endeffektors festzustellen.

- Resultierend aus den beiden vorherigen Punkten ist die aktuelle Bewegungsgenauigkeit der Handführung abhängig vom Anwender vergleichsweise gering.
- Bei fast allen Versuchen konnte beobachtet werden, dass die Faltenbalge nur bei der ersten bis maximal zweiten Einzelbewegung deckungsgleich auf die Markierungen zu führen sind. Bei den weiteren Bewegungen tritt ein Versatz auf, da der Zuschnitt bei der Zuführbewegung auf dem Aufnahmetisch rutscht.
- Wird eine mit aktivierter Druckluft geteachte Bewegung zur Analyse testweise ohne Druckluft abgefahren, kann man erkennen, dass die Faltenbalge keinen Kontakt zum Textil haben. Der Greifer bewegt sich in der Luft, ohne die Tischoberfläche bzw. den Zuschnitt zu berühren.

4.4.1. Ohne Druckluft, Handführung, Gesamtbewegung

Durch die Deaktivierung der Druckluft beim Teach der Zuschnittsaufnahme ist die handgeführte Bewegung des Greifers auf die Markierungen leicht möglich, da auf Grund des fehlenden Ansaugens des Zuschnitts, nicht auf einen schonenden Umgang des Textils geachtet werden muss.

Trotz dieses positiven Effektes wurden alle weiteren Versuche mit aktivierter Druckluft durchgeführt (siehe Kap. 4.3.2.). Der Grund liegt in der Beobachtung, dass beim Ablauf des Programms ab dem zweiten Bewegungsschritt, die Position der Faltenbalge von den Markierungen abweicht, auf die die ursprüngliche Programmierung ausgeführt war. Dies ist in der fehlenden Berücksichtigung der Materialeigenschaften des Textils beim Teach der Aufnahmebewegung begründet. Eine Aufnahmebewegung kann aus diesem Grund nur sinnvoll mit eingeschalteter Druckluft geteacht werden, da ansonsten keine exakte Positionierung der Module gegeben ist.

4.4.2. Mit Druckluft, Handführung, Gesamtbewegung

Das Teach der Aufnahmebewegung per Handführung mit aktivierter Druckluft stellte größere Anforderungen an den Anwender als die vorangegangene Versuchsreihe (vgl. Kap. 4.4.1.), da bei jeder Bewegung des Endeffektors zusätzlich das Verhalten des Zuschnitts beobachtet werden musste. Die resultierende Aufnahmebewegung wies aber in Bezug auf die Deckungsgleichheit von Markierung und zugehörigem Faltenbalgsauger eine höhere Genauigkeit auf.

Bei der Aufzeichnung der Gesamtbewegung als Pfad können Abweichungen von der Soll-Bewegung nicht korrigiert werden. In diesem Fall ist eine Wiederholung der gesamten Bewegung erforderlich.

Die Qualität der Aufnahmebewegung aus Einzelpunkten ist mit den in dieser Untersuchung festgelegten Rahmenbedingungen aufgrund der gering gewählten

Punkteanzahl (2 pro Einzelschritt) stark variierend. Des Weiteren kann im Vorfeld der genaue Bewegungsablauf der resultierenden Gesamtbewegung schwer abgeschätzt werden. Abhängig von der Erfahrung des Anwenders zeigten sich aber trotz der beschriebenen Ungenauigkeiten gute Resultate.

4.4.3. Mit Druckluft, Handführung, Einzelbewegungen

Die aus Einzelbewegungen per Handführung erzeugte Aufnahmebewegung entsprach im Ergebnis der Bewegung der Versuchsreihe mit Pfadaufzeichnung aus Kap. 4.4.2.

Als Vorteil stellte sich die Möglichkeit zur Wiederholung des Teachvorgangs von Einzelbewegungen dar, die durch einen Anwenderfehler bei der Handführung des Greifers nicht die angestrebte Genauigkeit besaßen. So mussten anstatt der Gesamtbewegung nur Teilbewegungen neu geteacht werden. Auf diese Weise war eine schnellere und einfachere Korrektur möglich.

Die Vorgehensweise sah wie folgt aus: Genügte eine Einzelbewegung nicht den Anforderungen, wurden die vorangehenden Einzelbewegungen wiederholt, so dass der Endpunkt als Startpunkt für ein erneutes Teachen der Bewegung dienen konnte.

Aus der höheren Flexibilität bei der Erstellung der Aufnahmebewegung folgte aber auch ein höherer Zeitaufwand, da die Programme der Einzelbewegungen zunächst in ein Hauptprogramm eingebunden werden mussten. Erst dieses bildete die gesamte Aufnahmebewegung ab.

4.4.4. Mit Druckluft, Standardmethode, Gesamtbewegung

Das Teachen der Aufnahmebewegung mit der Bedieneinheit des Roboters entspricht im Ablauf und den Besonderheiten der Punktaufzeichnung dem korrespondierenden Versuch mit Handführung (vgl. Kap. 4.4.2.). Die resultierende Aufnahmebewegung weist aber eine höhere Genauigkeit auf (keine Kleinstbewegungen, exakte Positionierung auf Markierungen).

4.4.5. Variation der Bewegungsart

Bei beiden Varianten der Wippbewegung tritt aufgrund der Modulabfolge während des Aufnahmevorgangs eine starke Verformung des Textils auf. Da das Einbringen von Fehlstellen in das Halbzeug vermieden werden muss, sind somit beide Bewegungsarten nicht praktikabel einsetzbar. Auch bieten sie keine weiteren Vorteile gegenüber der rollenden Aufnahmebewegung.

5. DISKUSSION

Bei der vorliegenden Untersuchung wurde ein Szenario ausgewählt, das komplexe Aufnahmebewegungen beinhaltet. Dadurch war beim Einsatz der Handführung, ein besonders großer Nutzen zu erwarten. Diese Annahme konnte durch verschiedene Versuchsreihen

bestätigt werden. Mit dem Standardbedienverfahren aufwendig zu erstellende Bewegungsprogramme konnten mit der Handführung unkompliziert und schnell erzeugt werden. Dabei war als zusätzlicher Vorteil nur wenig über die Roboterbedienung hinausreichendes Vorwissen notwendig.

Es stellte sich bei der Durchführung der Versuche heraus, dass die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit des Teachens mit Hilfe der Handführung unter anderem vom Erfahrungsschatz des Anwenders mit dieser Steuerungsart abhängig ist.

Vergleicht man die Handführung und die Verwendung der Bedieneinheit bei der Erzeugung eines Programms für die Aufnahmebewegung eines Zuschnitts, hat die klassische Methode mit Bedieneinheit derzeit noch Vorteile.

Die niedrigere Genauigkeit der Handführung bei der Bahnaufzeichnung durch ungewollte Kleinstbewegungen und den Vor- und Nachlauf bei der Bewegungseingabe (vgl. Kap. 4.4.) sind auf die aktuelle bei dieser Untersuchung verwendete Reglerkonfiguration des Kraft-Momenten-Sensors zurückzuführen. Durch die Anpassung der entsprechenden Parameter ist eine deutliche Steigerung der Genauigkeit in zukünftigen Versuchen zu erwarten.

Mit einer Offline-Programmierung wäre es prinzipiell möglich, schon jetzt präzise Bewegungsprogramme zu erzeugen. Dies würde aber großen Mehraufwand im Vergleich zur Handführung bedeuten, da es der vollständigen Vorlage aller digitalen Daten (Modelle für Form, Zuschnitt, Aufnahmetisch, Greifer und Materialverhalten) notwendig machen würde.

Bei der Handführung ist hingegen jederzeit ein schneller Halbzeugwechsel möglich, ohne die Notwendigkeit eines bekannten Materialmodells. Hier kann der Anwender das Materialverhalten intuitiv direkt während des Teachens berücksichtigen.

Mit dem jetzigen Stand der Regelung wird die im Fertigungsprozess erforderliche Genauigkeit noch nicht erreicht. Das Potential der Handführung ist aber auf Grund der vielen positiven Faktoren und der Anpassbarkeit der Reglerparameter groß.

Die Handführung des Streifengreifers Gen2 kann aus diesem Grund ein wichtiger schnell umsetzbarer Zwischenschritt hin zur Vollautomatisierung darstellen.

6. AUSBLICK

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnten verschiedene Optimierungsansätze im Aufnahmeprozess und am Greifer identifiziert werden. Eine stetige Weiterentwicklung des Streifengreifers Gen2 im Sinne einer technologischen Evolution wird somit möglich.

Im Rahmen der Prozessführungen bei der Aufnahme des Zuschnitts werden die derzeit noch manuell angebrachten, selbstklebenden Marker ersetzt. Eine optische Markierung könnte beispielsweise über einen Laserprojektor realisiert werden.

Auch wird die Aufnahmegenaugigkeit durch eine Anpassung der Reglerparameter verbessert. Zusätzlich soll eine Programmroutine integriert werden, die

unerwünschte Kleinstbewegungen des Endeffektors (vgl. Kap. 4.4) aus den aufgezeichneten Bewegungsprogrammen filtert.

In weiterführenden Versuchen wird auch die Einsatzfähigkeit der Handführung bei der Ablage von Zuschnitten untersucht. Hierbei stehen vor allem Fragen des erweiterten Anwenderschutzes im Fokus.

Darüber hinaus ist durch den modularen Aufbau des Streifengreifers Gen2 auch ein Transfer der Handführungstechnik auf andere Endeffektoren möglich. So könnten weitere Einsatzszenarien beispielweise in der Qualitätssicherung liegen.

In der Zukunft soll der gesamte Prozess von der automatischen Einstellung des Greifers für die Aufnahme unterschiedlichster Zuschnitte bis hin zur positionsgenauen Ablage und Fixierung im Formwerkzeug abgebildet werden. Bis diese Entwicklungsstufe erreicht wird, ist aber noch weitere Forschungsarbeit notwendig.

7. DANKSAGUNG

Wir bedanken uns bei den Mitarbeitern und Projektpartnern, die die Entwicklung des Streifengreifers vorangetrieben oder begleitet haben. Dies sind im Einzelnen L. Larsen, F. Krebs sowie bei der Firma KUKA Systems GmbH insbesondere J. Carstens und S. Bayer.

Die Entwicklung der Endeffektoren wurde finanziell gefördert vom Bayerischen Staatsministerium für Wirtschaft, Infrastruktur, Verkehr und Technologie.

8. QUELLEN

- [1] BRAUN, G.; GERNGROSS, T.: Entwicklung eines Endeffektors für das Handling von Kohlefasergelegen, DLR – Interner Bericht DLR-IB435-2011/64 (nicht veröffentlicht), Augsburg, 2011
- [2] BUCHHEIM, A.; GERNGROSS, T.; FRANZ, C.: Experimentelle Bestimmung der geometrischen Veränderung von bidirektionalem Multiaxialgelege unter prozessnachempfundenen Belastungen. DLR – Interner Bericht DLR-IB 435-2011/66 (nicht veröffentlicht), Augsburg, 2011
- [3] LARSEN, L.; BRAUN, G.: Entwurf und Test eines Saugsystems für das automatisierte Handling von Kohlefasergelegen, DLR – Interner Bericht DLR-IB435-2011/63 (nicht veröffentlicht), Augsburg, 2011
- [4] SCHUTZRECHT DE 102013204282.5: Verfahren zum Messen eines einstellbaren Endeffektors und Anordnung zur Durchführung eines derartigen Verfahrens, DLR und KUKA Systems GmbH, Augsburg, 2013
- [5] MRK-SYSTEME GMBH: Save Guiding – Teachen durch Handführung eines Roboters, Augsburg, 2012
- [6] KUKA SYSTEMS GMBH: TEZ – Manual Guided Endeffector (MGE), Augsburg, 2012