

Teilautomatisierung eines Klebprozesses für Klingeltasten mit Low-Budget Komponenten

Nico Nehls

HFU Hochschule Furtwangen, Fakultät Mechanical and Medical Engineering

Abstract— Die Firma TCS möchte einen Klebprozess für die Tasten einer Klingelanlage automatisieren. Die Anlage hierzu soll, soweit möglich, selbst entwickelt und gefertigt werden. Besonders die Vorteile des 3D-Drucks und Entwicklertools wie Arduino sollen in dem Projekt genutzt werden und zu einer günstigen Lösung führen.

Der erste Schritt in Richtung Automatisierung wird durch eine Zufühlösung ermöglicht, die in dieser Arbeit entwickelt, gefertigt und untersucht wird.

I. EINLEITUNG

Die Firma TCS TürControlSysteme AG, Triberg, ist Hersteller von Gebäudekommunikation. Sie entwickelt und fertigt unter anderem Klingel- und Gegensprechanlagen. In einem neuen Produkt werden hinterleuchtete, transluzente Klingeltasten eingesetzt, auf deren Oberseite mittig eine Metallplatte sitzt. Da u. a. durch den aktuell bestehenden Bauboom viele Gebäude errichtet werden, ist der Markt für Klingel- und Gegensprechanlagen groß. Es wird mit einem Bedarf von ca. 150.000 solcher Tasten pro Jahr gerechnet.



Abbildung 1: Tasteneinleger (links) und Tastenkörper (Mitte) in unterschiedlichen Ausrichtungen, rechts eine fertig verklebte Taste

Entsprechend lohnt sich hier die Automatisierung im Vergleich zur bisher manuell durchgeführten Fertigung. Diese wird aktuell für kleine Stückzahlen der Klingelanlagen, die bereits auf dem Markt erhältlich sind, durchgeführt.

Der Fokus dieses Projekts liegt auf der Zuführung der beiden Teile, sie sollen dem Roboter im darauffolgenden Prozesse in der richtigen Position und Ausrichtung zur Verfügung gestellt werden. Dies ist essenziell, da der Roboter nicht auf etwaige Abweichungen reagieren kann. So können falsch orientierte Teile nicht gegriffen werden oder gelangen in falscher Ausrichtung in den Folgeprozess, wodurch sich die Vorrichtungen und eingestellten Parameter dann nicht mehr eignen.

Das Thema Automatisierung wird bei TCS bereits seit einiger Zeit verfolgt. Ziel ist es, die Anlagen dafür soweit möglich selbst zu konstruieren, um so die Kosten gering zu halten und ein Knowhow darüber zu entwickeln.

Bei Erfolg ist geplant, dass neben der Gebäudekommunikation eine eigenständige Produktlinie eingeführt wird, die sich mit dem Thema Low-Cost Automatisierung auseinandersetzt. Die entwickelten Anlagen könnten somit vermarktet und verkauft werden.

II. AUFGABENSTELLUNG

Der metallene Tasteneinleger wird mittig auf den transluzenten Tastenkörper aus Kunststoff geklebt, wobei der Kleber auf den Tastenkörper aufgebracht wird. Nach dem Aushärten wird die Taste in die Klingelanlage eingesetzt. Der Klebprozess soll automatisiert werden, hierfür sind einige Teilprozesse nötig, auf die in Unterkapitel A bis D genauer eingegangen wird.

Die Anlagen, die für die Automatisierung benötigt werden, sollen in Eigenentwicklung und nicht von externen Herstellern bezogen werden. Ziel ist es, mit möglichst günstigen Mitteln ein Konzept zu erstellen und anschließend eine funktionierende Kleinserienfertigung zu implementieren.

Für die Teilefertigung stehen unter anderem 3D-Drucker (Prusa i3 MK3S+) zur Verfügung, die es ermöglichen, kostengünstig und schnell Bauteile zu fertigen. Es handelt sich um Fused Deposition Modeling (FDM) Drucker, die thermoplastische Kunststoffe additiv in dünnen Schichten übereinander auftragen. Die Genauigkeit liegt mit bis zu $\pm 0,05\text{mm}$ im Bereich der Allgemeintoleranzen und es sind auch komplexe Formen günstig fertigbar. Mit PLA als Standardmaterial wird ein Kunststoff eingesetzt, der bei Raumtemperatur eine für Thermoplasten hohe Festigkeit aufweist und gleichzeitig duktil ist. Es lassen sich je nach Geometrie sowohl stabile als auch flexible Teile daraus drucken. Zudem stehen weitere Materialien wie ASA, Carbonfaser-verstärktes und flexibles Filament zur Verfügung.

Für das Projekte kann auf Bestandteile vorausgegangener Projekte zurückgegriffen werden. So stehen u. a. ein Arduino Board mit einer Auswahl an Sensoren, ein elektrisch angetriebener Portaltisch, ein Delta-Roboter und ein Dobot MG400 zur Verfügung. Letzterer soll für das Handling der Teile nach der Zuführung eingesetzt werden, der Portaltisch ist für die Aufbringung des Klebers vorgesehen.

Ein Konzept soll mit den aufgezählten Bauteilen erstellt und getestet werden. Für die finale Umsetzung der Anlage ist der Einsatz einer SPS und zuverlässiger Industriesensoren und Motoren vorgesehen.

Als Hauptbestandteile des gesamten Klebprozesses sind folgende Teilprozesse zu nennen. In dieser Arbeit werden

hauptsächlich die ersten zwei Schritte betrachtet.

A. Zuführung

Die Zuführung ist der erste Teil des Klebprozesses, sie bildet die Schnittstelle zwischen manuellem Eingriff und automatisierter Fertigung. Die Teile sollen in großen Mengen von Hand eingefüllt und am Ende vereinzelt und in der richtigen Position dem Roboter zu Entnahme zugeführt werden.

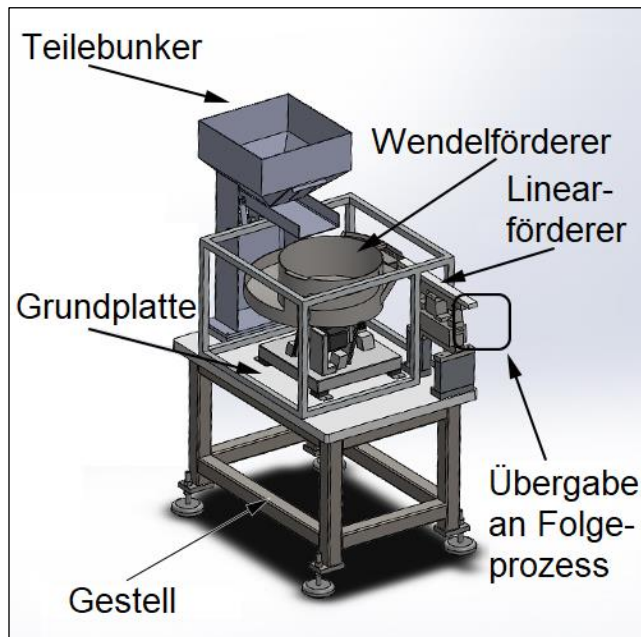


Abbildung 2: Aufbau einer Zuführlösung [3]

B. Folie entfernen

Bei den Tasteneinlegern handelt es sich um Stanzteile aus Metall. Um die Oberfläche zu schützen ist eine weiße Schutzfolie angebracht. Diese Folie soll auf der fertigen Klingeltaste nicht mehr vorhanden sein, um bei der Montage keinen Mehraufwand durch händisches Abziehen zu verursachen. Während der Verklebung besteht die Gefahr, dass die Folie mitverklebt wird oder sich im Spalt zwischen Tastenkörper und Einleger verklemmt, was das Abziehen im Nachhinein noch schwieriger gestaltet. Die Folie muss daher vor dem Einsetzen der Tasten in die Klingelanlage und vor dem Verkleben entfernt werden.

C. Roboter-Handling

Der Dobot MG400, der hierfür eingesetzt werden soll, ist mit einer Membran-Vakuumpumpe und einem Saugnapf ausgestattet. Diese Pumpe ist allerdings nicht für den Dauerbetrieb ausgelegt und muss ersetzt werden. Außerdem sind die Entwicklung eines Handhabungs-konzepts und die Programmierung für die Entnahme und weitere Verwendung der Teile noch ausstehend.

D. Kleberaufbringung

Das Aufbringen des Klebers ist der letzte Bestandteil des Prozesses. Der Roboter soll die Tastenkörper in eine Vorrichtung einbringen, in der der Kleber aufgebracht wird. Anschließend soll er den Tasteneinleger in den Tastenkörper einlegen. Die Auswahl des Klebstoffs und die Konstruktion der Vorrichtung stehen noch nicht fest. Möglichkeiten sind u. a. der Einsatz eines UV-aktivierten Klebstoffes, der sich durch die Transluzenz der Tastenkörper eignet, oder ein Sekundenkleber. Für die Vorrichtung kann der Portaltisch in einer umgebauten Version verwendet werden.

III. ZUFÜHRLÖSUNGEN

Zuführlösungen dienen der geordneten Teilebereitstellung und sind immer speziell auf die zuzuführenden Teile abgestimmt. Es gibt eine Vielzahl an Methoden und Geräten, die hierzu eingesetzt werden. Die Hauptaufgaben, die die einzelnen Systeme erfüllen müssen, sind: Bunkern, Fördern, Ordnen und Ausgeben. [1] Die mechanischen Hauptbestandteile sind in Abbildung 2 zu sehen. Der angestrebte Zuführprozess lässt sich in folgende Schritte einteilen, wobei auch Schritte wegfallen, kombiniert oder wiederholt werden können.

Schritt 1 ist das **Einfüllen** von Schüttgut in ein Zwischenlager, auch Bunker genannt. Von diesem Bunker werden die Teile Stück für Stück dem folgenden Prozessschritt zur Verfügung gestellt. Das Einfüllen wird meist von Hand erledigt, kann aber auch bereits automatisiert sein.

Der Bunker beinhaltet eine große Menge Teile und fördert abhängig vom Bedarf nach. Die Größe des Bunkers ist je nach Teilgröße und zu beinhaltender Menge sehr unterschiedlich. Es sollen genügend Teile vorhanden sein, um während des Prozesses nicht ständig nachfüllen zu müssen. Zum **Fördern** werden meist Bänder eingesetzt, verbreitet sind aber auch sog. Vibrations-Linear- oder Schwingförderer. Diese erzeugen eine oszillierende Bewegung, die durch zwei oder mehr in Reihe angeordnete Blattfedern eine bestimmte Richtung erhält.

Diese Schwingrichtung ist im Wesentlichen horizontal entlang der Förderstrecke und zusätzlich leicht vertikal in Richtung der Schwerkraft (siehe auch Abbildung 3). Die Teile werden in der Nach-Vorn-Bewegung durch gleichzeitige Beschleunigung nach oben an den Boden gedrückt, was die Reibung erhöht. In der folgenden Nach-Hinten-Bewegung bewegt sich der Förderer zurück entgegen der Förderrichtung. Das gleichzeitige Absenken führt zu einer verminderten Reibung bzw. zu Kontaktverlust zwischen Förderer und Teilen. Durch dieses Verhalten ergibt sich eine Vorzugsrichtung in der sich die Teile bewegen. Die Schwingung wird meist durch Elektromagnete oder Unwuchtmotoren erzeugt.

Die Teile werden aus dem Bunker einer Anlage zugeführt, die für die **Vereinzelung** zuständig ist. Am verbreitetsten sind hierfür Vibrationswendelförderer. Sie arbeiten grundsätzlich nach demselben Prinzip wie die beschriebenen Vibrations-Linearförderer, nur dass die Federn

in einem Kreis statt in Reihe angeordnet sind. Dadurch entsteht statt einer linearen eine Drehbewegung mit zusätzlichem Anheben und Absenken. Als Antrieb dient ein Elektromagnet, der mit einer der Federn wechselwirkt.

Simultan zu der linearen Variante werden die Teile im Wendelförderer entlang einer Kreisbahn gefördert. Als Förderstrecke werden Töpfe benutzt, an deren Wand eine spiralförmige Bahn nach oben führt. Auf dieser Bahn bewegen sich die Teile entlang und fallen in den Topf zurück, wenn sich mehr als ein Teil nebeneinander auf der Strecke befindet. Somit bewegen sich die Teile einzeln hintereinander aus dem Topf heraus.

Für den folgenden Prozess ist es wichtig, dass die Teile nicht nur einzeln, sondern auch in der richtigen Position zur Verfügung gestellt werden. Hierzu werden Einrichtungen genutzt, um die richtige **Ausrichtung** sicherzustellen, sogenannte Ordnungsschikanen. Sie werden nach aktivem und passivem Prinzip unterschieden. Passive Schikanen werfen falsch liegende Teile aus, wodurch diese zurück in den Topf fallen und erneut gefördert werden, bei aktiven Schikanen werden die Teile durch Wirkflächen mit einer speziellen Geometrie in die richtige Lage gezwungen. Schikanen stellen den Hauptteil der Fertigungskosten bei der Geräteherstellung dar. [2]

Nach der Ausrichtung werden die Teile in einem weiteren Lager, der Bunkerstrecke, zwischengelagert. Dieser soll dem folgenden Entnahmeprozess eine bestimmte Menge Teile lagerichtig **vorhalten**, um eine Prozessverzögerung zu verhindern. Zum einen werden so Unregelmäßigkeiten in der Förderung ausgeglichen, zum anderen kann der Förderer bei genügend gebunkerten Teilen ausgeschaltet und so Energie gespart werden. Die in der Bunkerstrecke vorhandenen Teile werden meist wie in einem Vibrations-Linearförderer zur Übergabestelle zum Roboter bewegt, aber auch die Nutzung der Schwerkraft bietet sich hier für die Förderung an. Am Ende der Bunkerstrecke werden die Teile dann endgültig in einer fest definierten Position an den Folgeprozess übergeben.

Neben den hier genannten Möglichkeiten gibt es noch unzählige weitere, die aufgrund ihrer geringen Relevanz für diese Arbeit nicht aufgeführt wurden. Trommel- oder Stufenförderer bieten sich z. B. nicht für die Förderung der Tasteneinleger an, Flächenspeicher benötigen zu viel Platz und kameragestützte Systeme würden den Rahmen des Projekts überziehen.

IV. VEREINZELUNG

Die Kinematik von Wendelförderern ist im Vergleich zu Linearförderern, besonders im Hinblick auf die 3D-Druck-Fertigung, recht kompliziert. Durch das anisotrope Verhalten von FDM-Teilen kann ein Vibrationsmodul unter Beachtung der Belastung für Linearförderer wie in Abbildung 4 als ein Teil gedruckt werden, während es für Wendelförderer mehrere Teile benötigt. Zudem können die für Linearförderer gebräuchlichen Unwuchtmotoren mit Gleichstrom betrieben werden, während Elektromagnete getaktete Stromimpulse benötigen.

Aus diesen Gründen wird für die Aufgabe der Vereinzelung

ein Vibrations-Linearförderer gewählt und konstruiert. Im 3D-Druck-Verfahren wird ein Vibrationsmodul gefertigt, in dem verschiedene Modelle von Unwuchtmotoren als Antrieb und verschiedene Fördertöpfe verwendet werden können.

Für das Konzept werden drei günstige Antriebe eines Onlinehändlers zum Untersuchen gewählt, um eine Vorstellung der erreichbaren Amplitude und Frequenz zu erhalten. Von diesen stellt sich der kleinste als am geeignetsten heraus, es ist ein Vibrationsmotor mit 45mm Durchmesser von Onpira. Die anderen Motoren erzeugen mit dem Prototypen des Vibrationsmoduls zu große Amplituden. Der Onpira Motor wird auch für die weiteren Versuche beibehalten. Er erweist sich trotz seiner kleinen Bauform und seines niedrigen Preises als geeignet und wird auch nach längerem Betrieb weder spürbar wärmer noch lauter.

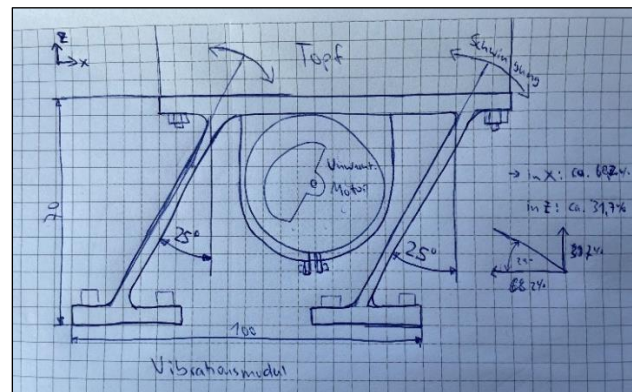


Abbildung 3: Skizze des ersten Prototyps der Vibrationsmodule

Der erste Prototyp wird mit einem Federwinkel von 25° konstruiert, doch erste Versuche zeigen, dass die Teile durch den hohen vertikalen Anteil (ca. 31,7%) zu sehr nach oben springen. Daraufhin werden weitere Modelle mit unterschiedlichen Federwinkeln gefertigt und das Verhalten verglichen. Am geeignetsten stellt sich hier ein Federwinkel von 10° heraus, bei dem die Teile zuverlässig in eine Richtung gefördert werden. Der vertikale Anteil liegt hier bei ca. 15% der Gesamtschwingung. Die Amplitude des Fördertopfes ist allerdings zu groß, was dazu führt, dass die Teile nach wie vor springen.

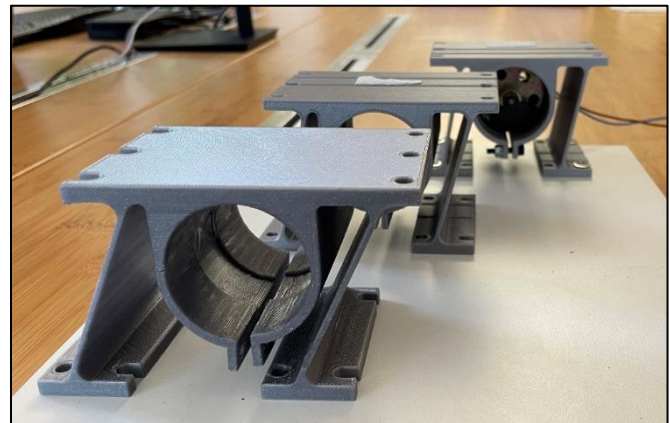


Abbildung 4: Vibrationsmodule mit unterschiedlichen Federwinkeln (25° links, 15° mittig, 10° rechts mit Unwuchtmotor)

Aus diesem Grund wird die Wandstärke der Federn für eine höhere Steifigkeit von 2mm auf 3mm erhöht, was eine deutliche Verbesserung mit sich bringt. Beide Teile des Klingelknopfes können mit dieser Vorrichtung gefördert werden, ohne zu springen.

Statt eines runden Topfes wie im Wendelförderer wird ein rechteckiger Topf verwendet. Dieser besitzt am Ende einen waagrechten Trichter, aus dem nur jeweils ein Teil austreten kann (siehe Abbildung 5). Bereits mit den ersten beiden Prototypen gelingt so die Förderung beider Teile.

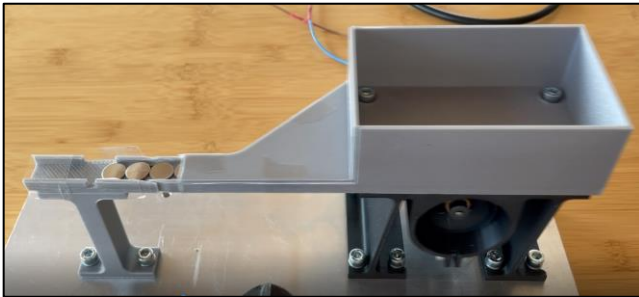


Abbildung 5: Vibrationsmodul mit erstem Modell eines Fördertopfes im Betrieb (Förderung der Einleger)

Um ein Verkleben der Teile wie in Abbildung 6 zu verhindern, sind einige konstruktive Änderungen notwendig. So wird im Topf für die Einleger ein Absatz vorgesehen, in den die Teile erst hineinfallen bevor sie einen schmalen Bereich passieren. Durch die Kante des Absatzes kommt es am Ausgang zu Stößen auf die Teile, was dazu führt, dass sie die Schikane mit einer so hohen Geschwindigkeit passieren, dass diese sie nicht ordnen kann. Durch eine noch höhere Federstärke von 4mm wird dieses Problem behoben, die Amplitude ist damit klein genug.

Die Trichterabdeckung des Topfes für die Tastenkörper hat mehrere Höhenstufen, die dazu führen, dass übereinanderliegende Teile voneinander getrennt werden und nur einzeln ohne Verkleben austreten.



Abbildung 6: Beispiele für Verklebungen bei den Einlegern

Ein Problem stellt auch der Winkel des Trichters dar, der in manchen Fällen zu Verklebungen entlang der Ebene führt. Er wird auf von 45° auf 30° angepasst, was eine kontinuierlichere Förderung erlaubt. Das äußere Erscheinungsbild wird durch die Änderungen kaum verändert. Ein Anpassen des Designs ist durch den 3D-Druck sehr einfach und schnell möglich.

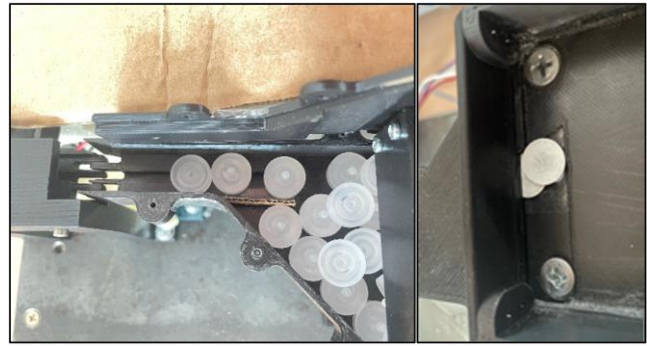


Abbildung 7: Trichter des Tastenkörper-Fördertopfes mit aufgeklapptem Deckel und Kamm-Übergabe (links), Absatz im Fördertopf der Tasteneinleger (rechts)

In einem ersten Versuch werden im Schnitt bis zu 25 richtig positionierte Tasteneinleger pro Minute gefördert und bis zu 17 richtig positionierte Tastenkörper. Weitere Tests zur Bestimmung der optimalen Frequenz und Amplitude für eine effizientere bzw. schnellere Förderung werden im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt. Da sich mit den veranschlagten 150.000 Teilen pro Jahr eine benötigte Förderleistung von lediglich ca. 1,3 Teilen pro Minute ergibt, wird diese Anforderung bereits erfüllt.

V. AUSRICHTUNG

Die Schikane für die Tastenkörper kann wie in Abbildung 8 zu sehen durch eine rein geometrische Barriere realisiert werden. Die Teile werden unten in einer Rille geführt, in die die Nase hineinpasst. Wenn die Teile verkehrt herum liegen, wird die oben liegende Nase über einen Winkel zur Seite hin weggeschoben und ausgeworfen. Anders liegende Teile werden bereits im Fördertopf durch den stufigen Trichterdeckel (siehe Abbildung 7) am Passieren gehindert bzw. vereinzelt.

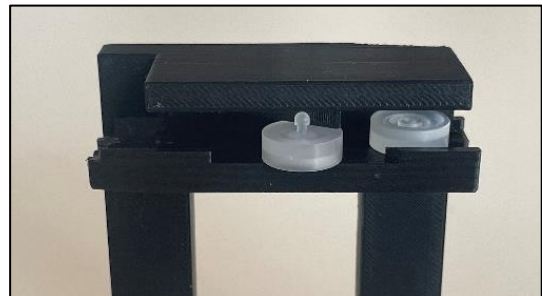


Abbildung 8: geometrische Schikane für die Tastenkörper. Mittig ein falsch liegendes, rechts ein richtig liegendes Teil

Bei den metallischen Einlegern ist eine geometrische Barriere nicht möglich, da sie sich in ihren zwei möglichen Ausrichtungen zu wenig unterscheiden. Die zwei Seiten weisen aber einen optischen Unterschied auf, eine hat eine Oberfläche aus blankem Stahl, auf der anderen ist eine weiße Schutzfolie angebracht. Mit einer Kamera ist der Unterschied nur schlecht zu erkennen, aber die Reflexion unterscheidet sich deutlich. Aus diesem Grund werden ein Laser und Photoresistor aus dem Arduino Sensor-Kit eingesetzt.

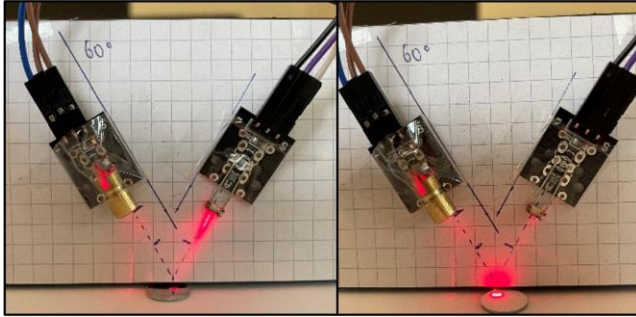


Abbildung 9: Test mit Laser und Photoresistor, der Einleger ist links falsch, rechts richtig orientiert. Einstellung mit 30° Einfallswinkel und 2cm Abstand, gut zu erkennen ist die Lichtstreuung rechts

Der Photoresistor misst die Intensität des reflektierten Laserstrahls und kann somit die zwei Seiten unterscheiden. Da das umgebende Licht ebenfalls eine Rolle spielt, muss die Messung in einem Gehäuse stattfinden.

In einem Versuch stellen sich 30° Einfallswinkel und jeweils 2cm Abstand als am sichersten heraus. Dabei unterscheidet sich der Messwert zwar kaum, allerdings wird der Lichtstrahl bei sich bewegenden Teilen in anderen Einstellungen zu stark abgelenkt und trifft oft nicht auf den Photoresistor.

Da die Erkennung der unterschiedlichen Seiten mit diesem System gut gewährleistet ist, wird ein Auswurfmechanismus entworfen und ein Programm für den Arduino geschrieben. Ein SG90 Servo-Motor, ebenfalls aus dem Arduino Zubehör, wird eingesetzt, an dem ein Hebel angebracht wird, der das Teil seitlich auswerfen kann.

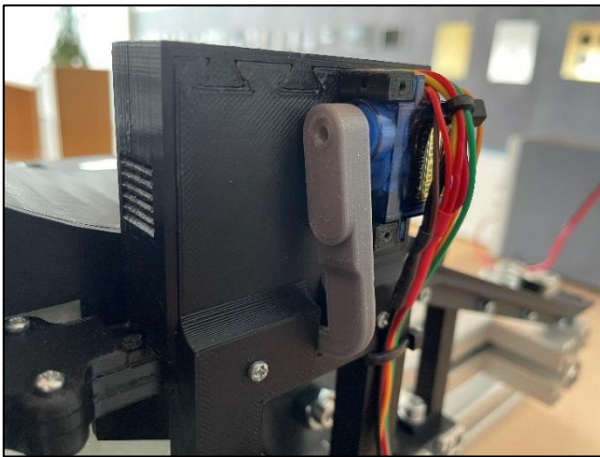


Abbildung 10: Elektromechanischer Auswerfer der Schikane für die Einleger

Die Schikanen werden an die Enden der Fördertöpfe gesetzt. Um die aus dem Trichter der Fördertöpfe austretenden Teile aufzunehmen, wird eine Übergabevorrichtung konstruiert, die trotz der Relativbewegung eine sichere Führung gewährleistet. Eine Kammstruktur wird genutzt, die ineinandergreift und so zu jeder Zeit eine fast geschlossene Oberfläche bietet (siehe Abbildung 7). Durch eine abgerundete Kante wird zudem verhindert, dass die Teile hängen bleiben können.

VI. FOLIE ENTFERNEN

Eine gängige Methode, um Folien automatisch von Blechteilen zu entfernen, ist sie wie in Abbildung 11 zu sehen mit einer Schneide zu lösen, dann zu greifen und abzuziehen. Da die Folie auf den Einlegern nur sehr klein ist, könnte das Lösen bereits ausreichen, um sie zu entfernen. Manuelle Versuche hierzu funktionieren gut, es muss im Schnitt viermal mit einer Kante über den Einleger gestrichen werden, bis die Folie entfernt ist.

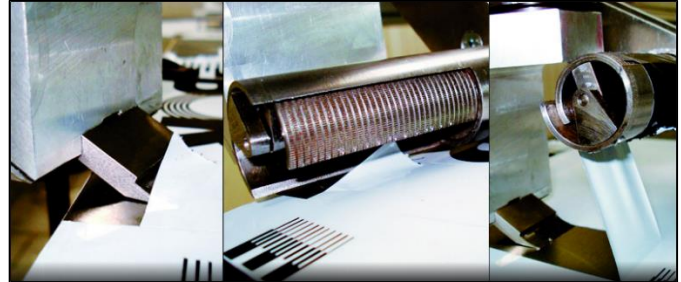


Abbildung 11: Konventionelle Entfernung einer Folie in drei Schritten; lösen, greifen und abziehen [4]

Um den Prozess zu automatisieren, wird ein Rad entworfen, welches wiederholt über die Oberfläche des Einlegers streicht. Damit der Einleger nicht herausfällt und seine Position beibehält, erhält der Sitz einen Vakuumanschluss.

Da der Prozess nicht sicher läuft, werden verschiedene Geometrien der Schneide untersucht. Am besten funktionieren Schneiden mit sehr kleinem Schneidewinkel oder solche mit Kerben. Allerdings lässt sich nach wie vor kein sicherer Prozess gewährleisten und zudem weisen die Einleger teilweise Kratzspuren auf. Auch dass das Rad mit den Schneiden teilweise stehen bleibt und die Folie zwar gelöst, aber nicht abgezogen werden kann, stellt ein Problem dar.



Abbildung 12: Apparatur zum Entfernen der Folie, unten verschiedene Geometrien der Schneide (links flach und gekerbt, rechts mit großem Schneidewinkel)

Daher muss ein anderer Weg gefunden werden, um die Folie zu entfernen. Ein Ansatz ist ein Rad aus flexiblem 3D-Druck-Material, welches die Folie abreiben soll. Die Idee stammt von sogenannten Folienradierern, die im Unterschied zur angestrebten Lösung allerdings die Folie auflösen und selbst stark verschleifen. Das in Abbildung 13 zu sehende Rad wird mit Streben ausgestattet, durch die sich die äußere Form entlang der Kante der Einleger anpasst und eine gute Ablösung erreicht werden sollen.

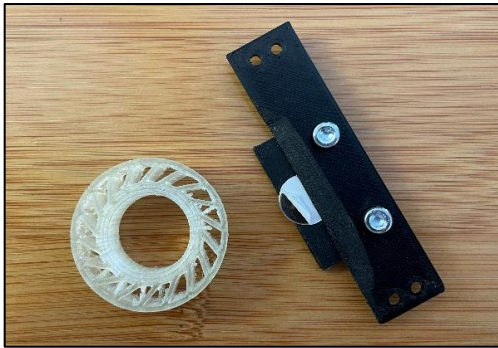


Abbildung 13: Rad aus flexiblem Material und Einleger mit durch das Rad gelöster Folie

Das Rad wird erst zum Schluss dieser Arbeit konstruiert und gedruckt und liefert im Handbetrieb bereits gute Ergebnisse, das weitere Vorgehen bleibt aber Thema einer folgenden Arbeit.

VII. AUSBLICK

Die Zuführlösung fördert bereits zuverlässig die Teile, allerdings können Parameter wie der Trichterwinkel oder die Schwingfrequenz sicherlich noch für eine höhere Förderrate optimiert werden. Zudem wird die Grundplatte der Anlage bisher provisorisch mit einer Schraubzwinge an einem stabilen Tisch befestigt, hier muss für die endgültige Version eine Grundplatte mit hohem Gewicht eingesetzt werden, das schwingungsgedämpft auf einem Gestell angebracht ist.

Für das Rad zum Entfernen der Folie muss eine kleine Anlage konstruiert werden, welche das sich drehende Rad über die Tasteneinleger führt. Voraussichtlich unterliegt das Rad einem Verschleiß, der erprobt werden muss. Auch der Abtransport der übrigbleibenden Schutzfolien ist noch nicht geklärt.

Zu entwickeln ist weiterhin eine Rückführung der ausgeworfenen Teile in den Fördertopf, diese kann voraussichtlich am sinnvollsten durch ein Förderband mit Stegen realisiert werden. Nach den Schikanen muss eine Bunkerstrecke vorgesehen werden, die gewährleistet, dass der Roboter zu jeder Zeit an der Übergabe ein Teil vorfindet. Auf der anderen Seite ist auch ein Bunker sinnvoll, der die Fördertöpfe versorgt.

Um den Prozess sicher zu gestalten, muss er durch Sensoren überwacht werden. Welche Art Sensoren und wie viele davon eingesetzt werden sollen, muss entschieden werden, sobald der Aufbau fertig konzeptioniert ist.

Abzusehen sind aber bereits jetzt Sensoren zum Füllstand, der Anwesenheit der Teile in der Bunkerstrecke und zur Überprüfung, ob die Folie richtig entfernt wurde.

Zur Prozesssicherheit beitragen soll der Einsatz einer Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) statt des bislang genutzten Arduinos. Mit einer SPS wird die Kompatibilität zwischen Steuerung und Industriesensoren gegeben, da beide mit 24V Spannung arbeiten und Technologien wie IO-Link genutzt werden können.

Des Weiteren müssen Untersuchungen zum Langzeiteinsatz durchgeführt werden und Abschätzungen zur Lebensdauer getroffen werden. Einflüsse wie UV-Strahlung und die ständige Wechselbelastung könnten zu einem verfrühten Ausfall führen. Sollte sich die bisherige Anlage als zu kurzlebig herausstellen, ist auch der Einsatz des Carbonfaser-verstärkten Materials für die Vibrationsmodule möglich, der durch die erhöhte Festigkeit eine deutlich längere Lebensdauer verspricht.

VIII. LITERATURNACHWEISE

- [1] Hofmann, Daniel (2014): *Simulationsgestützte Auslegung von Ordnungsschikanen in Vibrationsförderern*
- [2] Rockland, M.; Stetter, R. (1994): *Flexibles Ordnen und Zuführen. Einbinden physikalischer Effekte in die 3D-Bewegungssimulation*. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb
- [3] <https://www.feederuniversity.com/modules/vibratory-feeder-basics> (letzter Zugriff 10.01.2022)
- [4] <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/abziehen-von-schutzfolien-auf-edelstahlblechen-wird-automatisiert-gal-240740/> (letzter Zugriff 22.02.2022)