

# Entwurf und Konstruktion eines Werkstückträgers für eine teilautomatisierte Fertigungslinie

Florian Lohr

**Abstract—** Im Rahmen dieser Arbeit soll ein Werkstückträger für eine teilautomatisierte Montagelinie einer Spindelbaugruppe entwickelt werden. Hauptaugenmerke bei der Entwicklung liegen auf optimiertem Handling für die Montagetarbeiter\*innen und sinnvolle Gestaltung der Schnittstellen zur Montagelinie. Durch praktische Versuche und iterative Entwicklungsschritte mittels Testaufbauten aus additiven Fertigungsverfahren kann ein anforderungsgerechter Werkstückträger ausgearbeitet werden.

## I. EINLEITUNG

Für eine Erhöhung der Produktionsmenge bei gleichzeitiger Reduktion der Produktionskosten wird die Produktion einer Linearspindelbaugruppe zur Höhenverstellung eines Büroarbeitsstisches optimiert. Dieses Produkt eines weltweit agierenden Möbelherstellers wird zukünftig in einer teilautomatisierten Montagelinie mit Werkstückträgersystem montiert. Die benötigten Arbeitsplätze werden dadurch von vier auf zwei reduziert und die Taktzeit auf 20 Sekunden gesenkt. Damit wird eine Produktionserhöhung von bisher täglich 300 auf künftig 1000 Spindeleinheiten ermöglicht.

Diese Forschungsarbeit befasst sich mit der Konstruktion des Werkstückträgers der teilautomatisierten Montagelinie. Der Werkstückträger wird automatisch über ein Fördersystem durch die Montagelinie geführt und dient so als umlaufendes Mittel, auf welchem die benötigten Einzelteile der Spindelbaugruppe bereitgestellt, vormontiert, endmontiert und geprüft werden. Dafür werden Aufnahmemöglichkeiten für die Einzelteile auf dem Werkstückträger benötigt, die einen sicheren Transport gewährleisten sowie eine ergonomische Montage und ein sicheres Prüfen ermöglichen. Die wichtigsten Abläufe und Schnittstellen des Werkstückträgers zur Montagelinie (Abbildung 1) werden nachfolgend erläutert und die sich damit ergebenden Anforderungen dargestellt.

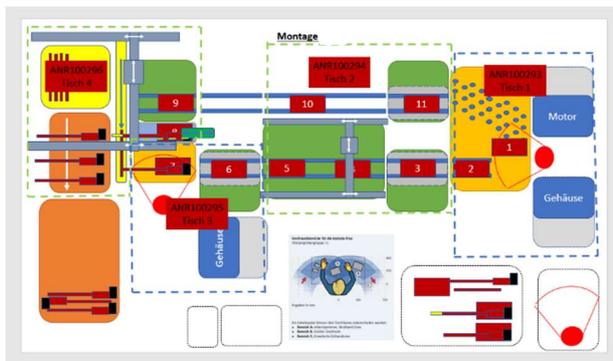


Abbildung 1 Konzept der Montagelinie

Diese Forschungsarbeit wurde in einem Industrieunternehmen für Antriebstechnik durchgeführt.

Der Motor der Spindelbaugruppe wird an der ersten Arbeitsstation auf dem Werkstückträger fixiert und geprüft. Damit ist eine elektrische Schnittstelle und Kontaktierung des Motors über den beweglichen Werkstückträger mit seiner Umgebung erforderlich. Außerdem muss der Barcode des Motors ausgelesen und eine auftragsbezogene Speicherung der Prüfergebnisse erfolgen. An der zweiten Arbeitsstation wird der Werkstückträger positioniert, um ein Kugellager auf die Motorwelle aufzupressen sowie eine Schneckenhülse aufzuschrauben. Kugellager und Schneckenhülse werden bereits in Arbeitsstation eins auf dem Werkstückträger bestückt und von einer Portaleinheit in die Presse beziehungsweise Schrumpfanlage eingelegt.

An Arbeitsplatz drei werden die Einzelteile der Spindelbaugruppe durch die Montagetarbeiter\*innen montiert und die Gehäusehalbschalen geschlossen. Auf dem Werkstückträger wird die Baugruppe unter eine Presse geführt, welche die beiden Gehäuseschalen der Spindelbaugruppe mit einer definierten Kraft sicher verpresst. An dieser Stelle muss der Werkstückträger die auftretenden Druckkräfte aufnehmen können. In der Presse wird die zusammengefügte Baugruppe gleichzeitig auf korrekte Funktion geprüft. Nach der Prüfung der Baugruppe wird diese von einer weiteren Portaleinheit aufgenommen und zur Verpackung beziehungsweise Ausschusskiste weitergeführt. Der nun geleerte Werkstückträger wird über das Förderbandsystem zur ersten Arbeitsstation zurückgeführt.

Der Werkstückträger ist so zu gestalten, dass er der Reibung auf dem Förderbandsystem standhält und gleichzeitig eine möglichst geringe Masse besitzen um ein ergonomisches Arbeiten durch die Montagetarbeiter\*innen zu gewährleisten.

## II. VORGEHEN UND METHODIK

### A. A-Muster - Konzeptstudie

Im ersten Entwicklungsschritt werden die grundlegenden Anforderungen zum Handling eines Werkstückträgers für die Montagetarbeiter\*innen untersucht. Dafür wird aus Holz und mit additiven Fertigungsverfahren (3D-Druck) ein Funktionsmuster des Werkstückträgers aufgebaut (Abbildung 2). Anhand dieses Musters kann untersucht werden, welche grundlegenden Abmaße für den Werkstückträger von Nöten sind, damit auf diesem alle Bauteile positioniert werden können. Außerdem kann durch praktische Versuche und Tests die optimale Anordnung der Bauteile ermittelt werden, sodass die Montagetarbeiter\*innen möglichst ergonomisch arbeiten können und die Taktzeit von 20 Sekunden erreicht wird.



Abbildung 2 A-Muster des Werkstückträgers

Die Grundplatte des A-Musters bilden zwei beschichtete Holzplatten, welche mit doppelseitigem Klebeband zusammengeklebt sind. Damit ergibt sich eine Grundplatte mit den Abmaßen von 350x250x15mm. Die additiv gefertigten Aufnahmen sind möglichst schlank gestaltet und mit doppelseitigem Klebeband auf der Grundplatte befestigt, sodass ein individuelles Positionieren und Verschieben möglich ist. Die Aufnahme für das aufgewickelte Motorkabel ist aus einem 0,6 mm starken Draht gebogen und mit Kabelbindern auf der Grundplatte befestigt. Für den Motorstecker wird das passende weibliche Gegenstück des achtpoligen Molex-Steckers mit Heißkleber auf einer Auflage fixiert und ebenfalls mit doppelseitigem Klebeband auf der Grundplatte befestigt.

Mit diesem A-Muster werden unterschiedliche Konzepte und Lösungsansätze erarbeitet, die in Absprache mit dem Projektleiter getestet und darauffolgend im CAD konstruiert werden. Alle Konzepte werden mithilfe des 3D-Druckers oder mittels konventioneller Verfahren gefertigt und praktisch auf Funktionalität geprüft.

#### B. B-Muster – CAD-Konstruktion mit konventioneller Fertigung

Die gewonnenen Erkenntnisse werden in ihrer Vollständigkeit ausgearbeitet, ausgelegt und in der CAD-Software Autodesk Inventor konstruiert. Dieses Muster wird in seiner Gesamtheit aufgebaut und dient als erstes Versuchsobjekt für die teilautomatisierte Montagelinie. Durch die praktischen Versuche und die iterativen Konstruktionsfortschritte der weiteren Montagelinie wird der Werkstückträger ergänzt und optimiert.

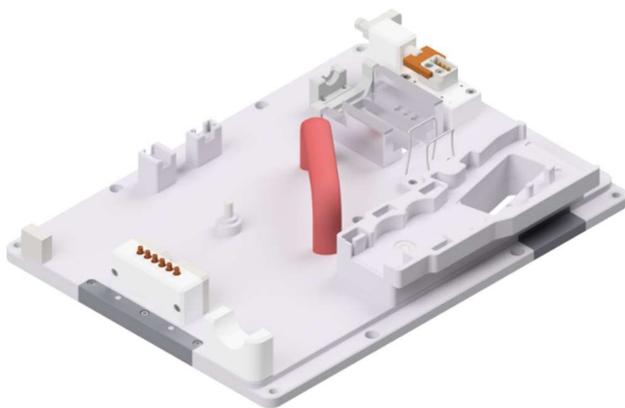


Abbildung 3 B-Muster des Werkstückträgers

#### C. B-Muster – Ausarbeitung B-Muster und Aufbau Prototyp

Der Werkstückträger wird fertigungsgerecht auskonstruiert und in der benötigten Stückzahl gefertigt.

### III. Konstruktion

#### A. Automatisierter Auswurf des Molex-Steckers

Der Motor, der durch die Montagearbeiter\*innen auf dem Werkstückträger eingesteckt wird, muss am Ende der Montagelinie automatisiert ausgeworfen werden. Dafür wird der weibliche achtpolige Molex-Stecker der Serie Mini Fit Jr [1] als Konstruktionsvorlage verwendet und mit der Werkstoffpaarung von Stahl, POM-C und Messing nachgebildet.

Das Äußere des Steckers wird aus Stahl in der Größe des Steckers gefräst und auf einem Kunststoffblock montiert, welcher acht Hülsen in dem benötigten Rastermaß von 2,54 mm enthält. In diesen Hülsen können montagegerecht die Federkontaktstifte gesteckt werden, die eine elektrische Kontaktierung gewährleisten [2].

Ein sicherer Halt des Molex-Steckers wird durch eine verschiebbare Messingnase gewährleistet, welche den Stecker einrasten lässt. Wird an dem Hebel (Abbildung 4 auf der rechten Seite) von außen eine Bewegung induziert, so wird die Rastnase zur Seite geschoben und der Stecker wird durch die vorgespannten Federkontaktstifte aus seiner Aufnahme ausgeworfen. Durch eine Feder wird die Rastnase in die Ausgangsposition zurückgeführt. Dieser Mechanismus wird in einem Modell nachgebildet und erprobt.

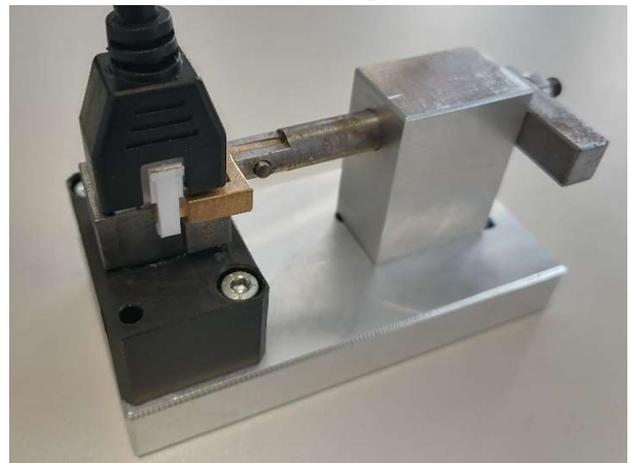


Abbildung 4 Modell des automatisierten Steckerauswurfes

#### B. Elektrische Kontaktierung des Werkstückträgers mit den Arbeitsstationen

Für die elektrische Signalübertragung zwischen Werkstückträger und den Arbeitsstationen sind Federkontaktstifte der Serie 365 von Fixtest [3] verbaut worden. Diese Federkontaktstifte sind in einer Aufnahme aus POM-C in Hülsen eingesteckt. Damit ist eine wartungsgerechte Austauschbarkeit bei Verschleiß gewährleistet (Abbildung 5).



Abbildung 5 elektrische Kontaktierung des Werkstückträgers mit der Montagelinie über Federkontaktstifte

Für die Montage und Anbringung der Verbindungskabel zwischen der elektrischen Kontaktierung und der Molex-Steckeraufnahme, ist die Aufnahme geteilt. Mittels einer abnehmbaren Platte können die Kabel an die Hülsen angelötet werden. Die Kabel verlaufen im unteren Bereich des Werkstückträgers in einer Nut, welche durch Kunststoffplatten verdeckt werden.

Durch eine Zentrierfunktion aus Stahl wird gewährleistet, dass die Kontaktierung, selbst bei Positionsabweichungen, jederzeit sicher auf die Federkontaktstifte trifft.

### C. Aufnahmen von Schneckenhülse und Kugellager

Die Aufnahmen, in denen die Schneckenhülse und das Kugellager für die Portaleinheit bereitgestellt werden, sind aus Aluminium gefertigt (Abbildung 6). Für einen sicheren und festen Halt ist mittig in den Aufnahmen ein Neodym-Magnet eingeklebt, welcher einen Mindestabstand von 4 mm zur Schneckenhülse beziehungsweise dem Kugellager besitzt. Damit ist gewährleistet, dass die Portaleinheit beide Bauteile herausheben kann.

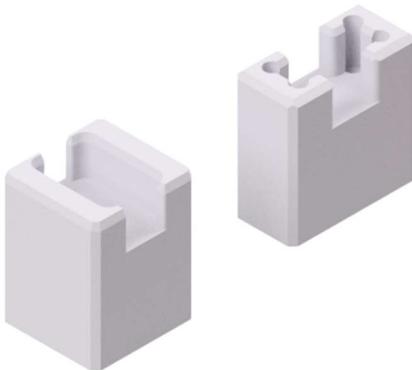


Abbildung 6 Aufnahmen für die Schneckenhülse (rechts) nach der Poka-Yoke-Methode und Aufnahme des Kugellagers (links)

Die Aufnahme für die Schneckenhülse ist passungsgerecht nach der Poka-Yoke-Methode konstruiert [4]. Damit ist eine falsche Positionierung der Schneckenhülse durch die Montagemitarbeiter\*innen ausgeschlossen.

### D. Motor- und Kabelaufnahme

Für die Aufnahme des Motors kann auf eine Bestandsvorrichtung aus der Handmontage zurückgegriffen werden. Allerdings wird die Motoraufnahme durch eine große mittig platzierte Aussparung verändert, die den gesamten Werkstückträger durchdringt. Die Aussparung ermöglicht das Scannen des Barcodes auf dem Motoretikett. Durch die Erkennung des Motors und die damit verbundene Zuordnung der Prüfergebnisse zur fertigen Spindelbaugruppe und dem Fertigungsauftrag ist eine vollständige Datenerfassung und -speicherung gewährleistet.

Damit das aufgewickelte Motorkabel während des Montageprozesses sicher auf Position gehalten wird, ist eine flexible Halterung (Abbildung 7) aus 1,6 mm Schweißdraht (1.5424) montiert. Der Einsatz von Schweißdraht ist durch die dauerhafte und schnelle Verfügbarkeit in der Firma begründet.



Abbildung 7 Kabelaufnahme aus Schweißdraht (1.5424)

Die Flexibilität des Drahtes und die große Öffnung der Kabelaufnahme sind auf die Montagefähigkeit von den Montearbeiter\*innen und die Entnahmefähigkeit der Endbaugruppe durch die Portaleinheit abgestimmt. Durch die Befestigung über eine Aufnahmeplatte und zwei metrische Schrauben ist ein wartungsgerechtes Austauschen der Kabelaufnahme bei Verschleiß und Verformung gewährleistet.

### E. Gehäuseaufnahme mit Gewichtsoptimierung

Die Aufnahme auf dem Werkstückträger für die untere Gehäusehälfte muss diverse Aspekte berücksichtigen:

- 1) Ein einfaches Einlegen der Gehäusehälfte durch die Montearbeiter\*innen muss gewährleistet sein.
- 2) Die Gehäusehälfte muss fest und positioniert in der Aufnahme liegen.
- 3) Die Aufnahme muss einen steifen Gegenpart beim Pressen bilden und darf sich nicht verformen.
- 4) An den Stellen der Verbindungslaschen ist ein Abstützen des Gehäuses durch die Aufnahme erforderlich, damit sich die Gehäusehälfte beim Pressen nicht verformt und die Laschen einrasten können.
- 5) In der Aufnahme ist eine Öffnung für das Scannen des Barcodes auf dem Motoretikett vorzusehen.
- 6) Die Aufnahme muss gewichtsoptimiert ausgeführt sein, damit das Handling des Werkstückträgers nicht negativ beeinflusst wird.

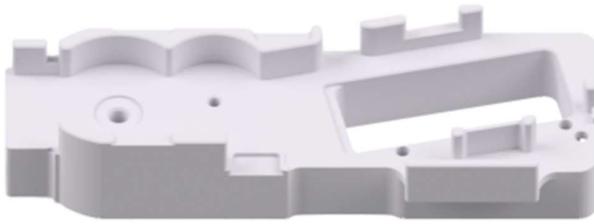


Abbildung 8 Aufnahme der Gehäusehalbschale auf dem Werkstückträger

Durch einen iterativen Konstruktionsprozess, umgesetzt über das praktische Testen von additiv gefertigten Aufnahmen und entsprechender konstruktiver Anpassungen, konnten die Anforderungen erfüllt werden (Abbildung 8).

#### F. Positionierung des Werkstückträgers für das Aufpressen des Kugellagers und der Schneckenhülse

Für das Aufpressen des Kugellagers und das Aufschrumpfen der Schneckenhülse auf der Motorwelle ist eine exakte Positionierung vorzusehen. Dafür sind im Werkstückträger konische Zentrierbuchsen der Firma Ganter Norm auf einem gefrästen Absatz montiert. Der Werkstückträger wird an entsprechender Position angehoben, dabei greifen konische Zentrierstifte in die konischen Buchsen ein, wodurch eine exakte Positionierung des Werkstückträgers erreicht wird.

#### G. Verschleißreduktion

Für eine Reduktion des Verschleißes wird für die Grundplatte des Werkstückträgers eine Schutzschicht aus Hart-Eloxal vorgesehen. In den Bereichen, an denen der Werkstückträger durch Schieber in der Montagelinie gestoppt wird, ist ein Einsatz aus Stahl vorgesehen.

#### H. Ergonomie des Werkstückträgers

Für ein besseres ergonomisches Arbeiten mit dem Werkstückträger ist ein roter Haltegriff angebracht. An diesem Haltegriff können die Montagearbeiter\*innen den Werkstückträger positionieren und führen. Außerdem dient Haltegriff als definierte Position, an dem der Werkstückträger gegriffen werden darf.

Zudem gewährleisten Radien und Fasen an allen Komponenten des Werkstückträgers ein sicheres Arbeiten mit geringer Verletzungsgefahr.

#### IV. Diskussion

Durch das Aufbauen eines einfachen Modells (A-Muster) können viele Erkenntnisse gewonnen werden, besonders im Hinblick auf Handling und Ergonomie. Das Validieren von Konstruktionen durch das praktische Testen von additiv gefertigten Modellen führt zu einem effizienten Konstruktionsprozess, welcher sich in dem bereits funktionalen B-Muster widerspiegelt.

Eine gewichtsoptimierte Konstruktion, insbesondere der

großen Bauteile auf dem Werkstückträger, reduziert das Gesamtgewicht und erleichtert das Handling für die Montagearbeiter\*innen.

Besonders die Punkte Bedienungsfreundlichkeit und Handling müssen in weiteren praktischen Versuchen näher betrachtet werden. Dafür ist es notwendig das B-Muster in den Arbeitsstationen der teilautomatisierten Montagelinie zu testen, welche bis zu diesem Zeitpunkt noch nicht aufgebaut sind. Die Erkenntnisse aus diesen Versuchen müssen in die Optimierung der Konstruktion einfließen, um alle Anforderungen vollständig zu erfüllen.

#### V. Fazit und Ausblick

Das Ziel der Konstruktion eines Werkstückträgers einer teilautomatisierten Montagelinie für eine Spindelbaugruppe konnte erreicht werden. Es wurde ein Werkstückträger mit einer Grundplatte von 350x260x15mm konstruiert, auf dem die einzelnen Bauteile positioniert, montiert und geprüft sowie entnommen werden können. Die elektrischen Schnittstellen zwischen Montagelinie, Werkstückträger und Bauteilen der Spindelbaugruppe wurden durch Federkontakte gelöst. Die kritischen mechanischen Kontaktflächen wurden durch verschleißreduzierende Maßnahmen entschärft.

Da auch die Ausarbeitung der Montagelinie für die Spindelbaugruppe im Unternehmen noch nicht abgeschlossen ist, ist es nicht möglich alle potenziellen Einflussfaktoren auf den Werkstückträger zu beachten. Deshalb werden eine genauere Betrachtung und Prüfung des in dieser Arbeit entwickelten Werkstückträgers notwendig sein, welche anschließend konstruktiv umgesetzt werden müssen. Hierbei sind zwei Aspekte hervorzuheben:

Durch praktische Versuche, mit zum Beispiel den späteren Montagearbeiter\*innen, könnten weitere Ansätze ermittelt werden, die ein Handling mit dem Werkstückträger verbessern, vereinfachen oder sogar eine weitere Zeitersparnis ermöglichen.

#### VI. Quellenangaben

- [1] *Molex Connector Part Number - 39-01-2086*. [Online]. Verfügbar: [https://www.deutsch.molex.com/molex/products/part-detail/crimp\\_housings/0039012086](https://www.deutsch.molex.com/molex/products/part-detail/crimp_housings/0039012086) (zuletzt: 28.08.2022).
- [2] *RS PRO Prüfspitze 3A | RS*. [Online]. Verfügbar: <https://de.rs-online.com/web/p/pruefspitzen/2615092> (zuletzt: 28.08.2022).
- [3] *FIXTEST GmbH: Detailansicht Batteriekontakte*. [Online]. Verfügbar: <https://www.fixtest.de/index.php?id=123&serie=365> (zuletzt: 28.08.2022).
- [4] J. Niemann, B. Reich, and C. Stöhr, Eds., *Lean Six Sigma: Methoden zur Produktionsoptimierung*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2021.