



**Zur Erlangung des Grades  
eines  
Bachelor of Engineering (B.Eng.)  
von Herrn David Böhme**

geboren am: 03.11.1992

in: Lutherstadt Wittenberg

vorgelegte Abschlussarbeit: Bachelorarbeit

Lehrgebiet: Mechatronik, Industrie- und Physiktechnik

Thema: Optimierung des IR-Einsatzes in der Spritzgießtechnik

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Achim Merklinger

Zweitprüfer: Dipl. Wirt.-Ing. (FH) Andreas Güntsch

Merseburg, den 22. Januar 2015

# Inhalt

<b>Inhalt .....</b>	<b>I</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>Tabellenverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>2 Spritzgießtechnik.....</b>	<b>- 2 -</b>
2.1 Grundlagen des Spritzgießens .....	- 2 -
2.2 Automatisierungsmöglichkeiten für das Spritzgießen .....	- 7 -
2.2.0 Allgemeines.....	- 7 -
2.2.1 Spritzgießen mittels Knickarmroboter.....	- 7 -
2.2.2 Spritzgießen mittels Linearroboter.....	- 9 -
2.2.3 Picker für die Angussentnahme .....	- 11 -
<b>3 Beschreibung der eingesetzten Technik zum automatisierten Umspritzen von Statorpaketen.....</b>	<b>- 13 -</b>
3.1 Roboter und Greifer.....	- 13 -
3.2 Die Spritzgießmaschine.....	- 15 -
3.3 Ofen mit integriertem Umlaufsystem .....	- 16 -
3.4 Die Höhenprüfstelle.....	- 17 -
3.5 Räumliche Anordnung der Komponenten .....	- 17 -
<b>4 Beschreibung des Fertigungsablaufes.....</b>	<b>- 19 -</b>
4.0 Stanzpaketieren .....	- 19 -
4.1 Verfahrensablauf des automatisierten Hybrid-Spritzgießens .....	- 20 -
4.1.1 Normalbetrieb.....	- 20 -
4.1.2 Verhalten bei Fehlgriff des Greifers.....	- 22 -
4.1.3 Sonderbetriebsarten .....	- 23 -
4.2 Das Endprodukt .....	- 24 -
<b>5 Einschätzung des IR-Einsatzes und Aufzeigen von Schwachstellen .....</b>	<b>- 25 -</b>
<b>6 Verhinderung von Einlegefehlern in den Werkstückträger.....</b>	<b>- 27 -</b>
<b>7 Vorschläge zur Optimierung der bestehenden Steuerung .....</b>	<b>- 31 -</b>
7.1 Anfahrbetrieb vollautomatisieren.....	- 31 -

## Inhalt

---

7.2 Verhindern des Verkantens der Werkstückträger .....	- 36 -
7.3 Reduzierung des Ausschusses durch Fehlgriff.....	- 39 -
<b>8 Automatisierung der Durchschlagsfestigkeitsprüfung .....</b>	<b>- 44 -</b>
8.1 Analyse der verwendeten Prüfmethode .....	- 44 -
8.2 Varianten der automatischen Durchschlagsfestigkeitsprüfung.....	- 47 -
8.2.1 Integration einer Prüfmaschine in die Roboterzelle.....	- 47 -
8.2.2 Prüfung der Durchschlagsfestigkeit im Greifer.....	- 50 -
8.3 Ablagestellen der aussortierten Teile .....	- 56 -
<b>9 Zusammenfassung und Ausblick.....</b>	<b>- 60 -</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>- 61 -</b>
<b>Verzeichnis der verwendeten Internetquellen.....</b>	<b>- 62 -</b>
<b>Anlagenverzeichnis .....</b>	<b>- 63 -</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1</b> Wachstum der Kunststoffproduktion .....	- 2 -
<b>Abb. 2</b> Urformverfahren für Thermoplaste.....	- 3 -
<b>Abb. 3</b> Verfahrensablauf des Spritzgießens.....	- 6 -
<b>Abb. 4</b> Beispielhafte Integration eines Knickarmroboters.....	- 9 -
<b>Abb. 5</b> Ausführungen von Linearrobotern .....	- 11 -
<b>Abb. 6</b> Beispiel eines Angusspickers .....	- 12 -
<b>Abb. 7</b> Gesamt- und Einzelgreifer .....	- 14 -
<b>Abb. 8</b> Übersicht der Fertigungszelle .....	- 18 -
<b>Abb. 9</b> Stanzpaket.....	- 19 -
<b>Abb. 10</b> Umspritztes Stanzpaket.....	- 24 -
<b>Abb. 11</b> Lage der Rohteile im Werkstückträger.....	- 28 -
<b>Abb. 12</b> Lösung zur Verhinderung von Einlegefehler.....	- 30 -
<b>Abb. 13</b> Programmablaufplan für den Start (Teil 1).....	- 32 -
<b>Abb. 14</b> Programmablaufplan für den Start (Teil 2).....	- 34 -
<b>Abb. 15</b> Verkanten des Werkstückträgers.....	- 36 -
<b>Abb. 16</b> PAP zur Verhinderung des Verkantens der Werkstückträger .....	- 38 -
<b>Abb. 17</b> Rutsche der Rohteile .....	- 41 -
<b>Abb. 18</b> Prüfmaschine Durchschlagsfestigkeit.....	- 45 -
<b>Abb. 19</b> Aufstellungsbereich der Prüfmaschine .....	- 48 -
<b>Abb. 20</b> Entnahmegreifer .....	- 51 -
<b>Abb. 21</b> Integration der Prüfvorrichtung .....	- 53 -
<b>Abb. 22</b> Konzept des Prüfgreifers .....	- 54 -
<b>Abb. 23</b> Rutsche Durchschlagfestigkeitsprüfung .....	- 58 -

## Tabellenverzeichnis

**Tabelle 1** Positionen der Stopper ..... - 20 -

## Abkürzungsverzeichnis

IR	Industrieroboter
niO-Teil	nicht-in-Ordnung-Teil
QS	Qualitätssicherung
PAP	Programmablaufplan
PMMA	Polymethylmethacrylat
PPS	Polyphenylsulfid

# 1 Einleitung

Die Stanz- und LaserTechnik Jessen GmbH ist ein mittelständisches Unternehmen im Landkreis Wittenberg und ist in zahlreichen Branchen tätig, wie zum Beispiel Energieerzeugung, Antriebstechnik und Automotive. Seit 1993 gehört es zur Roos & Kübler Gruppe und bearbeitet hauptsächlich Elektrobleche für die Elektromotoren- und Transformatorenindustrie. Neben Ferritkernen und Einzelblechen werden dort ebenfalls Stator- und Rotorpakete in verschiedenster Form hergestellt. Eine besondere Weiterverarbeitung von Statorpaketen ist die Nutisolation mittels Spritzgießens. Dazu beherbergte die Stanz- und LaserTechnik Jessen zuerst eine konventionelle Spritzgießmaschine. Um jedoch die Stückzahlen zu steigern und eine effizientere Produktion zu gewährleisten, wurde eine weitere Spritzgießmaschine beschafft, welche mit zusätzlicher Technik in Form eines Industrieroboters (IR) und eines Transportsystems ausgestattet ist. Diese neue Fertigungseinheit wurde in Kooperation mit KraussMaffei Technologies GmbH<sup>1</sup> erarbeitet und dessen Konzepterstellung war Gegenstand des Betriebspraktikums.

Nachdem die erforderlichen Gerätschaften im Werk 1 aufgestellt wurden, erfolgte die Programmierung durch das Personal der KraussMaffei. Jedoch zeigten sich nach der Inbetriebnahme der Anlage einige Schwächen. Diese und weitere mögliche Fehlerquellen sollen identifiziert und eliminiert werden. Außerdem sollen Maßnahmen ergriffen werden, um die Maschinerie der Anlage weiter auszulasten und den Ablauf zu beschleunigen, sodass die Produktionszahlen weiter gesteigert werden können. Dadurch, dass nur das Personal von KraussMaffei Änderungen an der Anlage vornehmen darf, beinhaltet diese Arbeit Vorschläge zur Optimierung des Prozessablaufes, der Schnittstellen und der eingesetzten Komponenten.

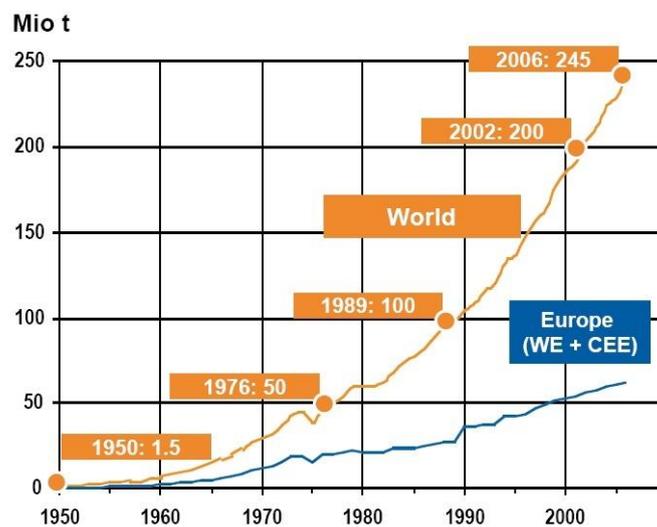
---

<sup>1</sup> nachfolgend nur noch als KraussMaffei bezeichnet

## 2 Spritzgießtechnik

### 2.1 Grundlagen des Spritzgießens

Die Kunststoffindustrie ist heutzutage in allen Branchen vertreten und der Anteil von eingesetzten Kunststoffen wächst stetig. Seitdem Kunststoffe in den 1940er Jahren aus Erdöl gewonnen wurden, steigen die Produktion und der Verbrauch weiter an.<sup>2</sup> Die weltweite und europäische Wachstumszunahme ist in der **Abb. 1** zu sehen.



**Abb. 1** Wachstum der Kunststoffproduktion<sup>3</sup>

Demnach müssen die Kunststoffe in einer Vielzahl geformt und verarbeitet werden. Je nach Art des Polymers, ob Thermoplast, Duroplast oder Elastomer, geschieht das

---

<sup>2</sup> vgl. <http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2009-12/erde-sd-kunststoffmuell>

<sup>3</sup> <http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2009-12/erde-sd-kunststoffmuell>



Die Technik des Spritzgießens ist vielseitig ausgeprägt und neben dem Standard-Spritzgießen von Thermoplasten gibt es eine Reihe von weiteren Verfahrensvarianten, welche sich daraus entwickelt haben. Sie werden eingesetzt, um zum Beispiel Teile einzufärben, mehrere Werkstoffe zu verbinden oder Hohlkörper zu formen. Weiterhin können gegenwärtig außer thermoplastischen Kunststoffen auch Duromere und Elastomere verarbeitet werden. Im Gegensatz zum Standard-Spritzgießen werden hierbei die Formmassen in niedriger Temperatur in die Kavitäten des Werkzeugs eingespritzt. Das Werkzeug besitzt wiederum eine sehr hohe Temperatur, durch welche die Kunststoffe aushärten. Im weiteren Verlauf der Arbeit wird zuerst die Grundform des Spritzgießens erläutert und anschließend die im Projekt verwendete Sonderform, das Hybrid-Spritzgießen.

Spritzgussteile können beliebig geformt sein und finden branchenübergreifend Anwendung. Dazu zählen zum Beispiel die Anwendungsfelder der Fahrzeugtechnik, Elektronik, Medizin oder Unterhaltung. Grund dafür ist die wirtschaftliche, nachbearbeitungsarme Herstellung und deren Maßhaltigkeit.<sup>8</sup> Thermoplastische Kunststoffe sind dafür das ideale Verarbeitungsmaterial, denn im fließfähigen Zustand können diese geformt werden. Nach dem Abkühlen erhärtet der Körper wieder und behält dazu seine Form bei. Des Weiteren ist das Spektrum dieser Werkstoffe nahezu grenzenlos und bietet für jeden Einsatzbereich eine passende Lösung. So werden für mechanisch beanspruchte Teile meist kristalline und im Gehäusebereich oftmals amorphe Thermoplaste eingesetzt. Für höher mechanische oder thermische Belastungen sind glasfaser- oder glaskugelgefüllte Werkstoffe der Standard.<sup>9</sup>

Das Ablaufschema bei Standard-Spritzgießmaschinen ist im Allgemeinen immer gleich. Zur Materialbefüllung einer Spritzgießmaschine ist ein Trichter vorhanden, in dem der Werkstoff in Pulver- oder Granulatform zugeführt wird. Das kann manuell oder durch eine automatische Beschickungsanlage erfolgen. Der eingefüllte Kunststoff

---

<sup>8</sup> vgl. Johannaber; Michaeli (2004), S. 279

<sup>9</sup> vgl. Steinko (2008), S. 17

gelangt über den Trichter in eine Plastifizierschnecke (bei Kleinteilen oder alten Maschinen werden oftmals noch Kolbenzylinder eingesetzt). Durch Bewegung der Schnecke werden die Formmassen in beheizte Zylinderzonen gebracht und anschließend durch Konvektion und Scherwärme aufgeschmolzen.<sup>10</sup> Infolge weiteren axialen Vorschubs in der Maschine wird das Material miteinander zu einer homogenen Schmelze vermischt und baut zusätzlich einen Druck an der Schneckenspitze auf, an welcher sich eine Düse befindet. Vor dem Einspritzen des Werkstoffs wird das kalte Formwerkzeug geschlossen und dabei mit großer Kraft zusammengehalten, sodass das Werkzeug dem Spritzdruck standhält und Leckagen verhindert werden. Der Einspritzvorgang startet damit, dass die Schneckendüse an der Kavität<sup>11</sup> des Werkzeuges anliegt und die Kunststoffschmelze in den Hohlraum eingespritzt wird. Nach einem weg- oder zeitabhängigen Signal beginnt die Nachdruckphase. Dabei wird Restmasse in das Formnest gedrückt, sodass der durch Abkühlung entstandene Volumenschwund ausgeglichen wird.<sup>12</sup> Nach einer eingestellten Kühlzeit wird das Werkzeug geöffnet und das Formteil entnommen oder ausgeworfen. Danach wiederholt sich der ganze Vorgang periodisch und wird demzufolge Spritzgießzyklus genannt.<sup>13</sup> Der Ablauf eines Zyklus wird in **Abb. 3** dargestellt.

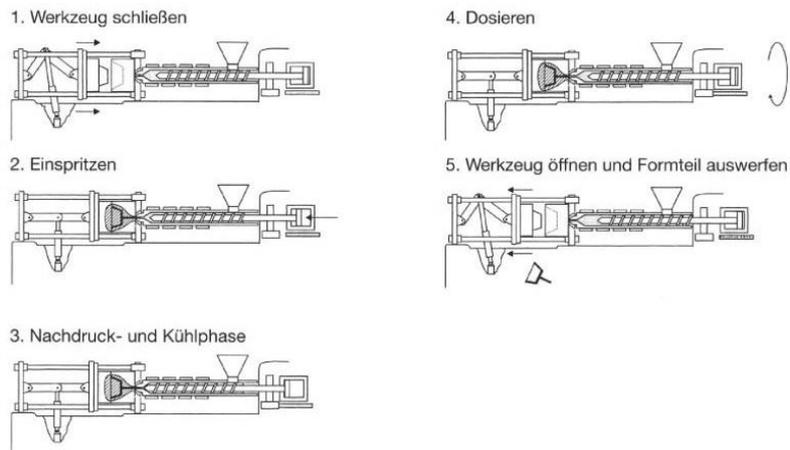
---

<sup>10</sup> vgl. Johannaber; Michaeli (2004), S. 279

<sup>11</sup> Eine Kavität ist der Hohlraum im Formwerkzeug und wird meist auch als Formnest bezeichnet.

<sup>12</sup> vgl. Johannaber; Michaeli (2004), S. 279

<sup>13</sup> vgl. Bührig-Polaczek; Michaeli; Spur (2014), S. 711



**Abb. 3** Verfahrensablauf des Spritzgießens<sup>14</sup>

Der Spritzgießprozess in der Stanz- und Laser-Technik Jessen ist eine Sonderform, welche sich im Punkt der eingesetzten Materialien vom konventionellen Spritzgießen unterscheidet. Entgegen des Standardverfahrens wird zusätzlich zum Kunststoff Metall mit verwendet. Die Metallkörper werden in die Kavitäten des Werkzeugs eingelegt. Nachdem das Werkzeug geschlossen ist, wird der metallische Einleger mit Kunststoff be- oder umspritzt. Diese Bearbeitung wird Hybrid-Spritzgießen genannt. Daraus ergeben sich Erzeugnisse, welche vielerlei Vorteile haben, vor allem in Hinsicht des Gewichts, der Form und der zeitsparenden Produktion.

---

<sup>14</sup> Ders., S. 711

## **2.2 Automatisierungsmöglichkeiten für das Spritzgießen**

### **2.2.0 Allgemeines**

*„Handhabungsgeräte zum Einlegen, Entnehmen, Angußabtrennen und Bearbeiten verbreiten sich in der kunststoffverarbeitenden Industrie seit über einem Jahrzehnt zunehmend. Dies gilt insbesondere für den Spritzgießbereich, wo sie meistens auf den Fertigungsmaschinen montiert sind.“<sup>15</sup>*

Das vorliegende Zitat stammt aus dem Jahr 1995 und der vorausgesagte Trend wurde in aller Hinsicht bestätigt. Die Tendenz der Industrie alle Vorgänge zu automatisieren nahm auch keinen Halt vor der Spritzgießtechnologie und es wurden vielfältige Lösungen entwickelt. Ziele des Einsatzes von Handhabungsgeräten und Robotern sind neben der Entlastung der Mitarbeiter vor allem die Beschleunigung der Fertigung und Erhöhung der Qualität der Produkte. Führende Hersteller der Spritzgießindustrie, wie z.B. KraussMaffei oder Arburg GmbH + Co KG, bieten außer Spritzgießmaschinen zusätzlich schon externe Handhabungsgeräte oder in der Spritzgießmaschine integrierte Lösungen als Komplettpakete an. Die Lösungsvarianten, welche auf den kommenden Seiten beschrieben werden, sind nur eine kleine Auswahl von den unzähligen Möglichkeiten zur Automation. Doch diese Methoden haben sich in der Industrie bewährt und kommen überwiegend zum Einsatz.

### **2.2.1 Spritzgießen mittels Knickarmroboter**

Der Knickarmroboter ist die flexibelste Lösung zur Automation der Spritzgießfertigung. Meist werden diese in der 6-Achs-Variante angeboten, jedoch ist auch ein 4-Achs-Roboter für vor allem einfache und schnellere Bewegungen erhältlich. Diese können folgende Aufgaben im Spritzgießprozess übernehmen: das Einlegen und die Ent-

---

<sup>15</sup> Meyer (1995), S. V

nahme von Teilen in die Spritzgießmaschine, das Prüfen und Bearbeiten der Spritzlinge oder auch die Montage an einer Baugruppe. Dabei können mittlerweile Traglasten bis zu 1200 N am Effektor wirken. Zusätzlich sind Reichweiten von bis zu 3900 mm möglich, sodass Roboter für die Unterstützung bei der Herstellung der Spritzgussteile universal einsetzbar sind. Je nach Anwendungsart gibt es verschiedene Modifikationen und Aufstellungen. Die Roboter können an einer Wand, auf dem Boden oder als Konsole montiert werden, sowie in der Spritzgießmaschine integriert sein. Zudem sind erweiternde Baugruppen verfügbar, wie Schnellwechseleinheiten, Aufbaueinheiten oder Greiferzwischenbaugruppen. Entgegen einfacher 3-Backen- oder Zangengreifern, welche nur ein Teil greifen können, werden bei kleinvolumigen Körpern vor allem Mehrfachgreifer eingesetzt, sodass mehrere Spritzlinge zeitgleich bewegt werden können. Bei speziellen Anforderungen und großräumigen Bewegungen stoßen Roboter durch die 6-Achs-Kinematik an ihre Grenzen, doch durch Erweiterung einer Lineareinheit und somit einer siebten Achse, sind diese ebenfalls zu überwinden. Zur weiteren Reduzierung von Zykluszeiten können zugleich Transportbänder oder Kettenförderer eingesetzt werden. Da der Spritzgießprozess nicht immer konstant geführt werden kann und es zu Fehlern kommt, ist der Roboter, außer der Handhabung der Teile, meist auch zuständig für deren Überprüfung. Es können neben zusätzlichen Messungen weiterhin zum Beispiel Druck- oder Kurzschlussprüfungen durchgeführt werden, sodass der IR zwischen Gut- und Schlechteile unterscheiden kann. Die Steuerung und Programmierung kann mittels eines Handgerätes, am Computer oder kann direkt an der Spritzgießmaschine erfolgen, da der IR an ihr gekoppelt ist. Auf der **Abb. 4** ist eine beispielhafte Integration eines Roboters in den Fertigungsprozess zu sehen. Dabei kommt ein 6-Achs-Roboter der Firma KraussMaffei Typ IR 200 W und eine ebenfalls von KraussMaffei hergestellte Spritzgießmaschine Typ KM 80 CX zum Einsatz. In der Fertigungszelle werden Blenden für Mobiltelefone gespritzt und von dem Knickarmroboter entnommen, der an der Wand montiert ist. Die hier dargestellte Lösung ist in Ansbach bei der Firma OECHSLER AG im Betrieb.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> vgl. <http://www.kraussmaffei.com/de/systemloesungen/d/uid-4d98aaf5-8c04-8772-e04d-89fd588a7c1d.html>



**Abb. 4** Beispielhafte Integration eines Knickarmroboters<sup>17</sup>

### 2.2.2 Spritzgießen mittels Linearroboter

Eine weitere Möglichkeit den Spritzgießprozess zu automatisieren bieten Linearroboter. Durch deren quaderförmigen Arbeitsraum können diese nur für das Einlegen, Entnehmen, Prüfen und Verpacken von Spritzlingen benutzt werden. Weitere Arbeitsschritte vor oder nach dem Spritzgießen bleiben dem Linearroboter vorbehalten. Mögliche Traglasten reichen bis zu 100 kg bei einer Wiederholgenauigkeit bis  $\pm 0,1$  mm. Absolute Wegmesssysteme unterstützen dabei die genaue Führung des Greifers. Dabei sind Reichweiten von bis zu 2000 mm in X-, 3000 mm in Y- und 8000 mm in Z-Richtung möglich. Die zugehörigen Achsbezeichnungen sind in der **Abb. 5 a)** dargestellt. Der Roboter wird entweder auf der Spritzgießmaschine montiert oder steht direkt neben der Maschine in Reichweite der Werkzeugebene. Oftmals erfolgt das Einlegen oder die Entnahme von oberhalb

---

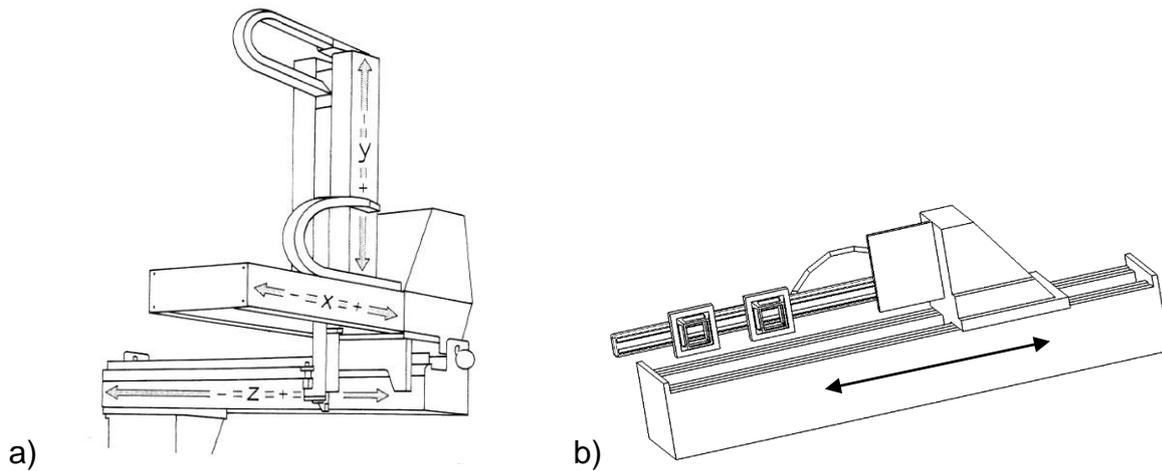
<sup>17</sup> <http://www.kraussmaffei.com/de/systemloesungen/d/uid-4d98aaf5-8c04-8772-e04d-89fd588a7c1d.html>

der Maschine in das Formwerkzeug. Weiterhin können die drei vorhandenen Linearachsen für die Formentnahme komplexer Teile durch drei Handachsen erweitert werden, sodass der Linearroboter bei jedem Spritzgießverfahren Anwendung finden kann. Unterstützend können auch hier Fördersysteme eingesetzt werden. Die Steuerung kann über die Spritzgießmaschine erfolgen, aber auch unabhängige Steuerungen sind denkbar.

Eine weitere vereinfachte Form der Linearroboter sind Seitenentnahmeroboter. Diese können für die Entnahme von dünnen oder leichten Gussteilen beim Hochgeschwindigkeitsspritzgießen benutzt werden. Der Roboter erreicht eine Zykluszeit von kleiner als 0,4 s und Traglasten bis max. 15 kg sind abführbar. Beim Aufbau wird auf eine oder sogar auf zwei Linearachsen verzichtet. Durch die vorgegebene Hauptachse muss der Roboter rechtwinklig zur Längsachse der Spritzgießmaschine platziert werden, um den Eingriff zu ermöglichen. Bei der Entnahme werden verschiedene Techniken angewendet. Es kommen Zangen-, Backen-, oder Sauggreifer meist in Mehrfachform zum Einsatz. Der Greifer wird zuerst ins Werkzeug und bei vorhandener zweiten Linearachse zum Werkstück gefahren. Die Teile werden anschließend angesaugt oder gegriffen und zum Abladepunkt gefahren. Der Zyklus beginnt danach wieder von vorn. Bei großflächigen Teilen wird oftmals eine zusätzliche Rotationsachse des Greifers eingebaut, sodass er um 90° gedreht werden kann<sup>18</sup>, um eine schonendere Ablage zu gewähren. Die Varianten des Linearroboters mit drei Bewegungsachsen und des Seitenentnahmeroboters sind in **Abb. 5** vereinfacht dargestellt.

---

<sup>18</sup> sog. „Handshake“



**Abb. 5** Ausführungen von Linearrobotern

a) Linearroboter mit drei Achsen<sup>19</sup>, b) Seitenentnehmerroboter gemäß Dakumar Machinery Co., LTD

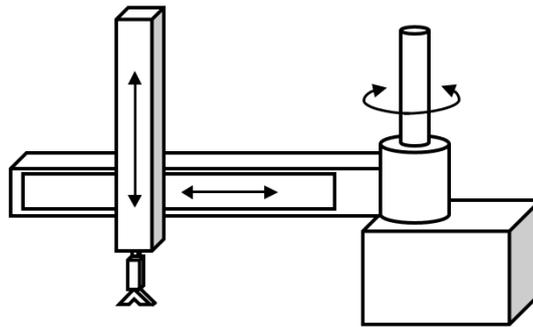
### 2.2.3 Picker für die Angussentnahme

Angusspicker (kurz: Picker) sind servoelektrisch oder pneumatisch betriebene Miniroboter zur schnellen und präzisen Entnahme von Gussteilen aus der Spritzgießmaschine. Sie besitzen meist eine rotatorische und zwei lineare Bewegungsachsen. Für Sonderanwendungen sind ebenfalls Picker mit zusätzlicher Schwenkachse erhältlich. Durch Maximalbeschleunigungen der Eintauchachse bis zu  $20 \text{ m/s}^2$  sind sehr kurze Zykluszeiten erreichbar. Die Maximaltraglast liegt dabei bei  $1 \text{ kg}$ . Die Angusspicker werden auf der Spritzgießmaschine montiert, damit ein vertikaler Griff in das Formwerkzeug ermöglicht wird. Dabei sind vertikale Hübe von  $1000 \text{ mm}$  möglich. Nachdem das Teil gegriffen wurde, wird es anschließend bis über das Werkzeug gehoben. Durch eine Drehung der Rotationsachse um bis zu  $100^\circ$  kann das gegossene Teil neben der Maschine abgelegt werden. Nach der Ablage ist der Zyklus abgeschlossen und die Bewegung beginnt wieder von vorn. Als Greifwerkzeug fungieren meistens Zangen- oder Sauggreifer, jedoch können auch für

---

<sup>19</sup> Meyer (1995), S. 33

Sonderanwendungen Alternativen zum Einsatz kommen. In der **Abb. 6** ist ein beispielhafter Aufbau eines Angusspickers dargestellt. Die Prinzipskizze orientiert sich am INTEGRALPICKER V mit Zangengreifer vom Hersteller Arburg.

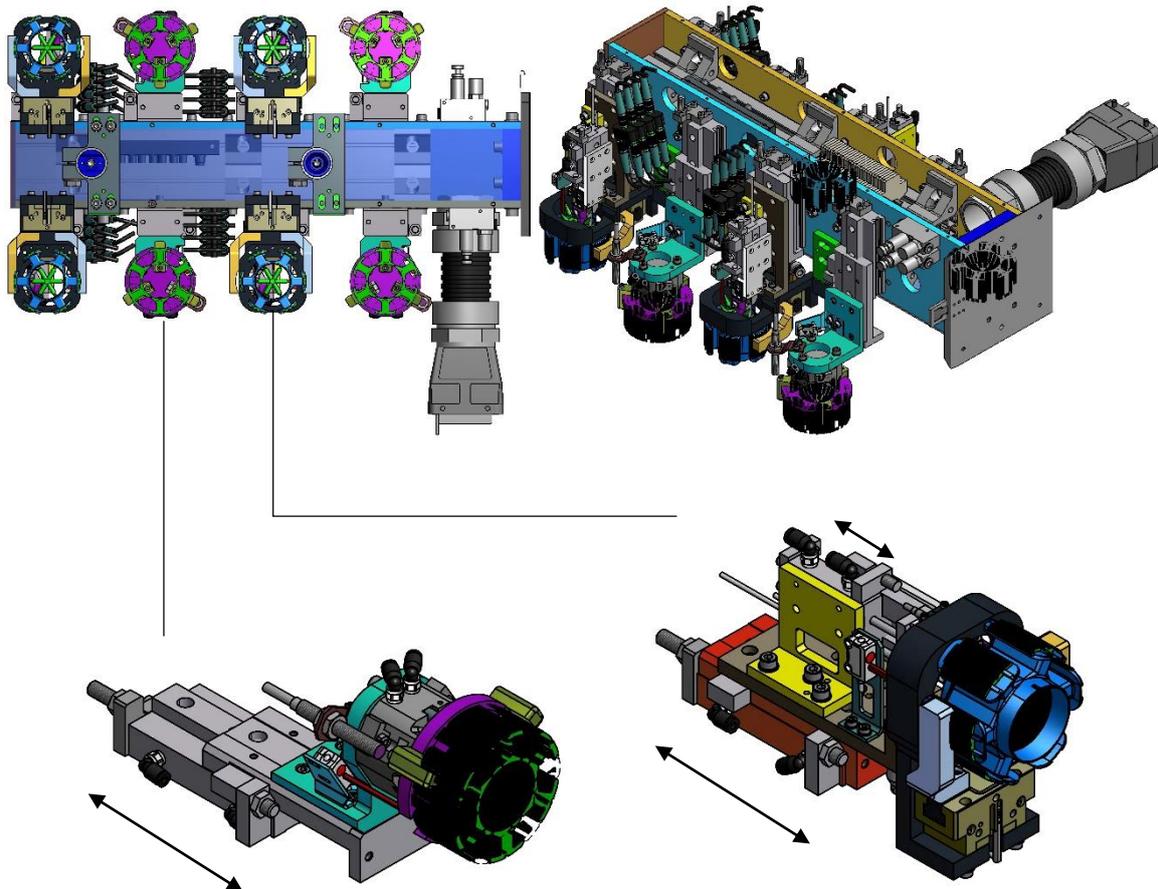


**Abb. 6** Beispiel eines Angusspickers

## **3 Beschreibung der eingesetzten Technik zum automatisierten Umspritzen von Statorpaketen**

### **3.1 Roboter und Greifer**

Als Roboter wird ein 6-Achs-Knickarmroboter von KraussMaffei vom Typ IR 300 R2430 F/K (gleich dem Typ KR 60 L30-3 von KUKA) in Bodenaufstellung verwendet (Datenblatt siehe **Anlage 1**). Dieser benutzt einen Sondergreifer, welcher dabei zeitgleich zum Entnehmen und Einlegen der Metallkerne in die Spritzgießmaschine dient. Der Gesamtgreifer besteht aus acht Einzelgreifern, welche alle entlang ihrer Längsachse paarweise verschiebbar sind. Alle Greifer sind mit Laser-Reflexlichttastern zur Lageüberprüfung der Teile im Greifer ausgestattet. Die Greiferprinzipien vom Einlegen und Entnehmen entscheiden sich aber voneinander. Da das Stanzpaket leicht deformierbar ist und sehr genau zentriert werden muss, wird zum Einlegen ein 3-Backen-Greifer verwendet. Nach dem Spritzgießvorgang ist das Teil stabiler, und somit kann eine andere Greifermethode zum Entnehmen verwendet werden, nämlich ein 2-Backen-Parallelgreifer. Dieser enthält weiterhin einen Angussabtrenner, welcher auf einen Schlitten befestigt ist und somit einen Hub erledigen kann. Bei beiden Greiferarten werden die Teile jeweils an der Außenkontur gegriffen. Die Einzelgreifer sind in zwei Viererreihen angeordnet, abwechselnd Einlege- und Entnahmegreifer, mit jeweils dem gleichen Greifertyp gegenüberliegend. Aufgrund der pneumatischen Beschaltung kann der axiale Hub von 50 mm nur mit dem gegenüberliegenden Greifer gleichzeitig erfolgen. Eine Einzelansteuerung eines Greifers ist nicht möglich. Zwei gegenüberliegende Greifer gleicher Art werden als Greiferpaar bezeichnet. Zudem können die Hübe nur von der Anfangslage in die Endlage und umgekehrt erfolgen. Zwischenlagen sind nicht möglich. Die Endlagenpositionen werden über induktive Sensoren erkannt. Die Ansteuerung des Greifers erfolgt pneumatisch, wobei die Druckluft und somit die Greifkraft manuell geregelt werden kann. Zusätzlich sind weiterhin noch zwei Zentrierstifte am Gesamtgreifer angebracht, sodass dieser genau am Werkzeug positioniert werden kann. Der Gesamt- und die Einzelgreifer sind in der **Abb. 7** zu sehen.



**Abb. 7** Gesamt- und Einzelgreifer

Im oberen Bild sind der Gesamtgreifer und die Anordnung der Einzelgreifer abgebildet (Ansicht von unten und isometrische Ansicht). Darunter sind ein Einlege- (unten links) und Entnahmegreifer (unten rechts) mit der Vorschubrichtung beim axialen Hub im Detail dargestellt. Zusätzlich ist beim Entnahmegreifer der Hub des Angussabtrenners gekennzeichnet (kleiner Doppelpfeil).

Gesteuert und programmiert wird der Roboter durch ein Handbediengerät<sup>20</sup>. Die verwendete Programmiersprache für den Roboter ist die Sprache KR C4 von KraussMaffei. Neben dem „klassischen“ Programmtext enthält diese sogenannte „Inline-Formulare“. Das sind vom Hersteller vorprogrammierte Unterprogramme, welche elementare Bewegungen oder Abläufe beinhalten und beim robotergestützten

---

<sup>20</sup> sog. „Handheld“

Spritzgießen oft verwendet werden. Diese können ausgewählt und im Hauptprogramm verknüpft werden. Ebenso kann die Online-Programmierung auch auf dem PC mittels des Programms KUKA Virtual Remote Pendant erfolgen.

### **3.2 Die Spritzgießmaschine**

Bei der eingesetzten Maschine handelt es sich um eine vollhydraulische Spritzgussmaschine vom Typ KM 250/1000 CX vom Hersteller KraussMaffei. Sie bedient sich der Zweiplattentechnologie und kann eine Schließkraft von maximal 250 kN realisieren. Der Materialfluss innerhalb der Spritzgießmaschine erfolgt über eine Schnecke mit 50 mm Durchmesser, die das zu spritzende Material zur Düse mit einer Bohrung von 8 mm befördert.<sup>21</sup> Das Spritzgießmedium ist Polyphenylsulfid (PPS, genaue Bezeichnung: Ryton R-4 von Chevron Phillips Chemical Company LP). Das verwendete Werkzeug enthält vier Formnester mit Zentrierbolzen und automatische Auswerfer, sowie zwei zusätzliche Zentrierstifte für den Greifer des Roboters. Zur Steuerung der Spritzgießmaschine ist ein Monitor mit der KraussMaffei eigenen Oberfläche MC6 vorhanden, die einerseits zur Bedienung der Maschine dient. Andererseits erlaubt die Steuerung aber auch die Darstellung von qualitäts- und prozesssichernden Statistiken, wie die Darstellung der Temperatur oder verschiedener Drücke innerhalb der Maschine. Neben der Ausgabe von momentanen, prozessrelevanten Größen werden Alarmmeldungen, Arbeitszeiten und Änderungen der Maschineneinstellenden in einem Ereignisprotokoll gespeichert. Zum Schutz des Bedieners ist die Maschine vollständig eingehaust, jedoch befinden sich zahlreiche Türen an signifikanten Stellen, um z.B. Zugang zur Düse, Auswerfeinheit oder Werkzeug, zu gelangen.

---

<sup>21</sup> [http://www.kraussmaffei.com/media/files/kmdownloadlocal/de/IMM\\_BR\\_CX\\_de.pdf](http://www.kraussmaffei.com/media/files/kmdownloadlocal/de/IMM_BR_CX_de.pdf)

### 3.3 Ofen mit integriertem Umlaufsystem

Weiterhin wird ein Ofen zum Vorwärmen der Stanzpakete verwendet. Diese Komponente ist erforderlich, um eine weitere Bearbeitung der Teile zu ermöglichen. Dabei kommt ein 3-Kammerofen zum Einsatz, mit den Aufheizzonen von 240 °C, 170 °C und 150 °C. Das Stanzpaket wird demnach erst überhitzt und dann annähernd vom oberen Temperaturbereich auf die richtige Temperatur von 150 °C gebracht. Der Ofen besitzt am Teileein- und ausgang jeweils eine Tür, welche automatisch oder mittels Schalter manuell geöffnet und geschlossen werden können.

Der Umlauf in der Fertigungseinheit wird durch ein im Ofen integriertes Förderband gesichert. Dieses durchläuft den Ofen bis in die Roboterzelle hinein und wieder hinaus zum Arbeitsplatz des Werkers. Es transportiert die Werkstückträger aufgrund der wirkenden Reibung und läuft permanent. Die Geschwindigkeit kann manuell geregelt werden. Auf dem Band befinden sich bis zu 30 Werkstückträger<sup>22</sup>, welche vier nebeneinander angeordnete Stanzpakete enthalten (siehe **Anlage 2**). Die Werkstückträger sind verdreh- und kippsteif ausgeführt und werden auf dem Band durch eine Schiene geführt. An fünf bestimmten Positionen des Bandes befinden sich Stopper mit jeweils zwei induktiven Sensoren, welche die Werkstückträger an derjenigen Stelle anhalten können. Dadurch können die Stanzpakete genau positioniert werden. Weiterhin befinden sich noch weitere induktive Sensoren jeweils kurz nach den beiden Ofentüren. Gesteuert wird der Ofen mit Bandanlage durch eine S7-300 der Siemens AG. Eine Zeichnung des Ofens mit dem integrierten Umlaufsystems ist in der **Anlage 3** beigelegt.

---

<sup>22</sup> sog. „Trays“

### 3.4 Die Höhenprüfstelle

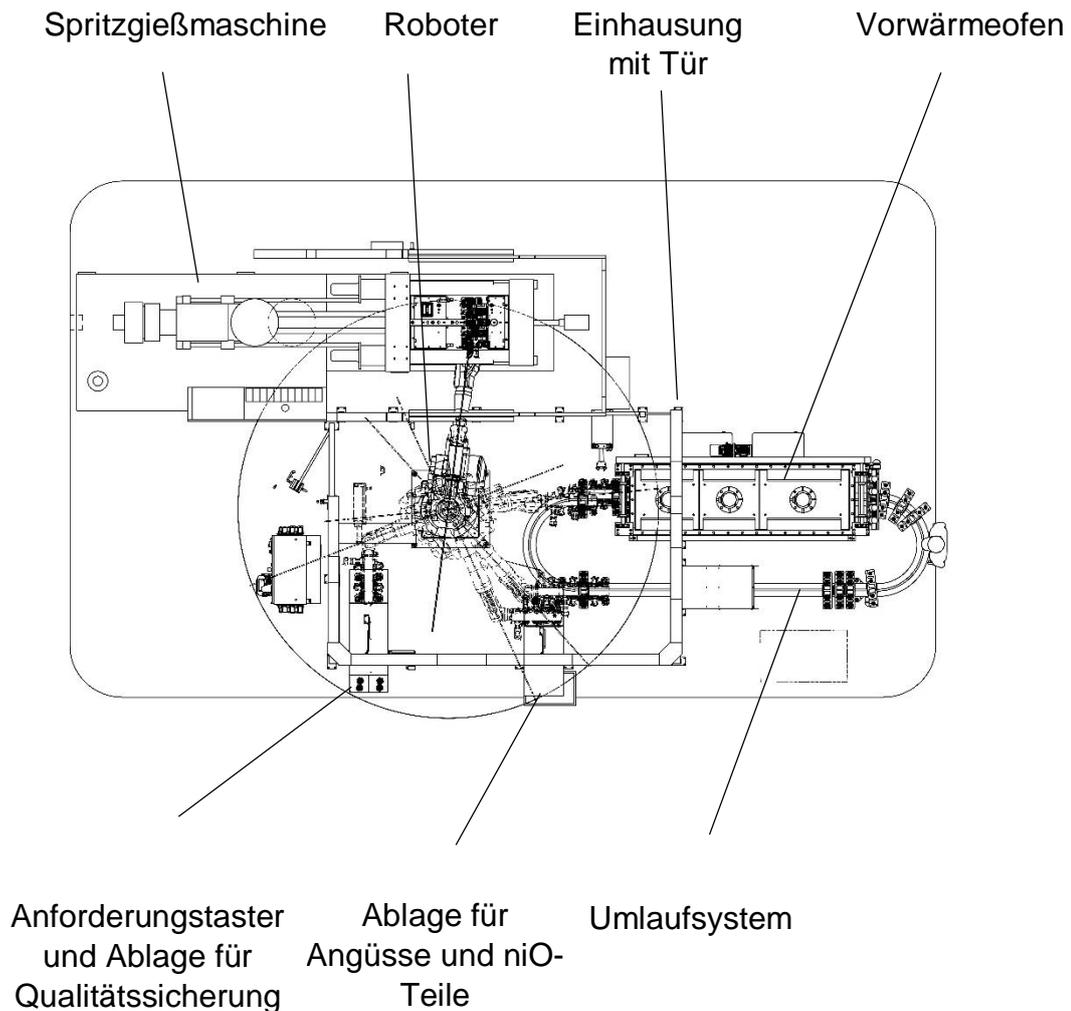
Da es beim Stanzpaketieren zu Fehlern und somit zu verschiedenen Höhen kommen kann, ist dem Ofen noch eine Höhenprüfstelle (**siehe Anlage 4**) vorgeschaltet. Diese enthält eine bewegliche Prüfschiene mit vier nebeneinander angeordneten Pneumatikzylindern, welche nach unten gefahren werden können. Für eine exakte Lage ist eine Klemmvorrichtung vorhanden, die die Werkstückträger an die Prüfschiene presst und somit arretiert. Die Pneumatikzylinder besitzen Wegmesssysteme, welche zur Höhenmessung eingesetzt werden. Bei der Messung sind Toleranzen von  $\pm 0,4$  mm zulässig. Zur Auswertung der Messung sind optische Signalgeber, eine Hupe und ein Quittierungstaster an der Messstelle vorhanden. Jedes einzelne Paket wird mittels eines Pneumatikzylinders geprüft. Die Steuerung erfolgt ebenfalls durch die S7-300 des Ofensystems.

### 3.5 Räumliche Anordnung der Komponenten

Die Produktionszelle entspricht dem aktuellen Stand der Spritzgießtechnologie und ist in der **Abb. 8** zu sehen. Die Zelle hat eine Länge von 10 m und eine Breite von 5,4 m. Der Roboter steht dabei in der Mitte, sodass er Zugriff zur Spritzgießmaschine und dem Umlaufsystem hat. Zusätzlich ist der Arbeitsraum des IRs mit Scheiben aus Polymethylmethacrylat (kurz: PMMA, umgangssprachlich: Plexiglas) eingehaust. Die Einhausung enthält eine Tür mit Kontaktschalter sowie zwei weitere Ablagestellen. An der ersten Ablagestelle ist für Angüsse, die durch den Greifer abgetrennt werden, und nicht-in-Ordnung-Teile (niO-Teile) ein Rutschförderer angebracht. Dieser befördert die ausgegliederten Teile aus der Zelle hinaus in eine Abfallkiste. Am Ende der Rutsche befindet sich ein nach unten abgewinkeltes Blech, sodass die ausgegliederten Teile nicht über die Kiste hinüber weg „fliegen“ und diese verfehlen. NiO-Teile werden im Kapitel 4.1.2 erläutert. An der zweiten Stelle können Teile für die Qualitätssicherung durch einen Schalter angefordert werden. Dazu ist eine weitere Rutsche (genannt QS-Rutsche) an der Einhausung befestigt, welche die angeforderten Teile aus der Zelle

## Beschreibung der eingesetzten Technik

befördert. Der Förderer besitzt einen Mittelsteg und am Ende werden die Teile gestoppt. Innerhalb der Anlage erfolgt die Master-Slave-Kommunikation<sup>23</sup>. Die Robotersteuerung stellt dabei die Master-Komponente dar. Die Steuerung der Spritzgießmaschine und des Ofens mit Umlaufsystem sind durch ein Bussystem angekoppelt und sind beide Slave-Komponenten.



**Abb. 8** Übersicht der Fertigungszelle

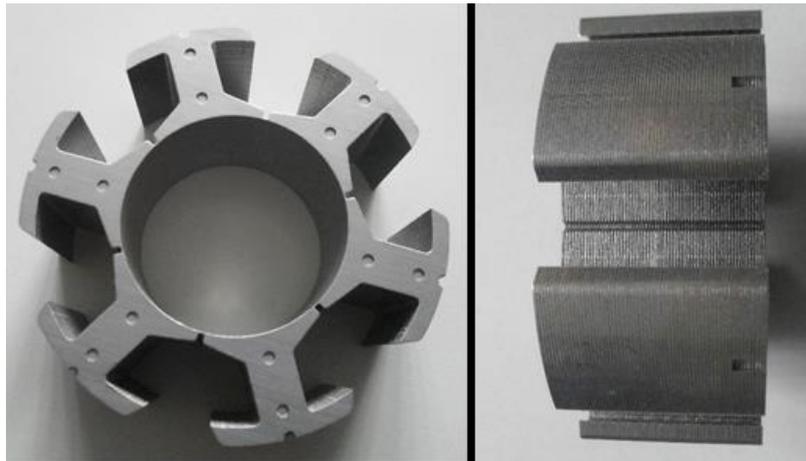
---

<sup>23</sup> vgl. Wellenreuther; Zastrow (2008), S. 6

## 4 Beschreibung des Fertigungsablaufes

### 4.0 Stanzpaketieren

Bevor die Bearbeitung durch das Spritzgießen beginnen kann, muss der Metallkern hergestellt werden. Dieser Arbeitsschritt erfolgt ebenfalls in der Stanz- und LaserTechnik Jessen im Werk 1. Dazu wird Elektroblech aus dem Werkstoff M400-50A (nach DIN EN 10106) mit einer Stärke von 0,5 mm in einer Hochgeschwindigkeitspresse mit einem Folgeschneidwerkzeug stanzpaketiert<sup>24</sup>. Das daraus resultierende Stanzpaket<sup>25</sup> ist ein Polring mit der Höhe von 30 mm und sechs Polzähnen<sup>26</sup> jeweils um 60° versetzt (siehe **Abb. 9**). Dieses wird anschließend beim robotergestützten Hybrid-Spritzgießen weiter verarbeitet. Die technischen Maße sind aus der **Anlage 5** zu entnehmen. Toleranzangaben sind dabei nicht enthalten.



**Abb. 9** Stanzpaket

---

<sup>24</sup> Unter Stanzpaketieren versteht man das Stapeln und Verbinden von nacheinander gestanzten Blechen mithilfe von zusätzlich eingestanzten Noppen.

<sup>25</sup> Das Stanzpaket wird nachfolgend ebenso als Rohteil, Polring oder Metallkern bezeichnet.

<sup>26</sup> Polzähne werden ebenfalls als Polschuhe bezeichnet.

## 4.1 Verfahrensablauf des automatisierten Hybrid-Spritzgießens

### 4.1.1 Normalbetrieb

Im Folgenden wird der Fertigungsablauf im Normalbetrieb erläutert (vgl. **Abb. 8** und **Anlage 3**). Vorab werden die Positionen und Nummerierungen der Stopper in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt. Die Nummerierung verändert sich während der Arbeit nicht.

**Tabelle 1** Positionen der Stopper

Stopper	Position
Stopper 1	Bestückungs-/Entnahmeplatz vom Werker
Stopper 2	Höhenprüfstelle vorm Ofen
Stopper 3	im Ofen vor der Ausgangstür
Stopper 4	Entnahmestelle der Rohteile
Stopper 5	Ablagestelle der Fertigteile

Die Bearbeitung beginnt damit, dass der Werker vier Stanzpakete in den leeren Werkstückträger auf das Band legt. Der Werkstückträger befindet sich am ersten Stopper und fährt nach dem Drücken des Quittierungstasters oder durch Freigabe des Roboters bis zur Höhenprüfstelle, welche sich genau vor dem Ofen befindet. An diesen Punkt befindet sich der zweite Stopper. Auf den Werkstückträgern befindet sich mittig ein zu beiden Seiten überstehendes, schmales Blech. Sobald dieses in das Wechselfeld der am Stopper befindlichen induktiven Sensoren kommt, greift der Stopper zu und stoppt den Werkstückträger. Das Prinzip des Stoppens der Werkstückträger ist bei allen fünf Positionen dasselbe. Die Klemmvorrichtung wird daraufhin nach oben gefahren, sodass der Werkstückträger an die Prüfschiene gepresst wird. Darauf erfolgt die Höhenprüfung. Bei dieser werden die Pneumatikzylinder gleichzeitig nach unten gefahren bis die Prüfköpfe auf den Rohteilen aufliegen. Anschließend erfolgt die Auswertung der Höhenprüfung. Wenn die erforderliche Höhe eines Rohteils nicht erreicht oder überschritten wird, leuchtet

## Beschreibung des Fertigungsablaufes

die dazugehörige Warnlampe rot auf und die Hupe ertönt. Das Teil muss daraufhin gewechselt werden. Dazu drückt der Werker einen Taster, sodass die Prüfschiene und die Pneumatikzylinder nach oben gefahren werden. Nach Austausch des Schlechtheils muss der Werker den Taster wieder betätigen. Daraufhin fährt die Prüfschiene wieder nach unten auf den Werkstückträger und die Prüfung erfolgt erneut. Ist die richtige Höhe bei einem Stanzpaket vorhanden, leuchtet die jeweilige Lampe grün auf. Wenn alle Rohteile die richtige Höhe besitzen, werden daraufhin der zweite Stopper und die Klemmvorrichtung gelöst. Danach wird die Einlasstür des Ofens geöffnet und der Werkstückträger in den Ofen gefahren. Nachdem der induktive Sensor nach der Ofentür passiert wurde, schließt sich die Tür wieder. Am Ende des Ofens ist der dritte Stopper angebracht. Durch diesen werden die Werkstückträger im Ofen gehalten, falls vorherige Pakete noch nicht fertig bearbeitet wurden. Kommt nun das Freigabesignal vom Roboter, wird daraufhin die Auslasstür geöffnet und der dritte Stopper gelöst. Nachdem der Werkstückträger den induktiven Sensor an der Auslasstür passiert hat, schließt sich diese. Der Werkstückträger gelangt nun zum vierten Stopper. An diesen Punkt werden die Rohteile paarweise vom Roboter aufgenommen. Dazu fährt der Greifer über den Werkstückträger, sodass zwei Einlegegreifer sich über diesen befinden. Durch einen Vorschub entlang ihrer Längsachse können die Rohteile gegriffen werden. Die Einlegegreifer stellen sich nach der Aufnahme wieder zurück in den Ausgangszustand. Daraufhin wird der Gesamtgreifer verschoben, sodass sich die anderen beiden Einlegegreifer über die zwei verbleibenden Rohteile befinden. Diese werden nach dem gleichen Prinzip gegriffen und anschließend fährt der Gesamtgreifer zur Spritzgießmaschine. Durch einen seitlichen Eingriff in das Formwerkzeug müssen zuerst die Fertigteile vom vorherigen Zyklus aus der Maschine entnommen werden. Dazu fährt der Greifer in das Werkzeug, sodass die Entnahmegreifer sich genau vor den Spritzlingen befinden. Durch den axialen Hub der Einzelgreifer zu den Spritzlingen werden alle vier Fertigteile gegriffen und entnommen. Nach dem Rückstellen der Entnahmegreifer wird der Gesamtgreifer auf die Zentrierstifte im Werkzeug positioniert. Die Einlegegreifer fahren sich ebenso axial zum Werkzeug hin aus und steckt die Rohteile auf die Dornen in das Formnest. Nach dem Ablegen der Stanzpakete verlässt der Greifer wieder die Werkzeugebene und der Spritzgießvorgang wird gestartet. Danach werden die Fertigteile zur Angussabtrennstelle gefahren und der Anguss wird durch die Abtrenner an den Entnahmegreifern abgeschlagen. Anschließend werden die fertigen Teile zum fünften

## Beschreibung des Fertigungsablaufes

Stopper gebracht, der Fertigteilablage, an der sich schon ein leerer Werkstückträger befindet. Die Teile werden wie bei der Entnahme paarweise abgelegt. Der Roboter begibt sich danach zum Aufnahmepunkt der Rohteile und nimmt neue Teile auf. Der Werkstückträger, auf dem sich die umspritzten Polringe befinden, wird wieder zum ersten Stopper gefahren. An diesem werden die Fertigteile vom Werker entnommen und daraufhin mit neuen Rohteilen bestückt. Der neu befüllte Werkstückträger ist nun wieder am Anfangspunkt angekommen und der Zyklus beginnt wieder von vorn mit dem Transport zur Höhenprüfung. Zusätzlich können mit einem Anforderungsschalter jederzeit fertig bearbeitete Spritzlinge zu einem dritten Ablagepunkt zur Qualitätssicherung angefordert werden.

### **4.1.2 Verhalten beim Fehlgriff des Greifers**

Ein immer wiederkehrendes Problem ist die Fehlaufnahme von Teilen aus den Werkstückträger oder dem Werkzeug. Dabei sind Einlege- und Entnahmegreifer betroffen. Deswegen wurde ein Programm in der Steuerung hinterlegt, welches beim Fehlgriff entsprechend in den Fertigungsprozess eingreift und die Anlage in die Ausgangssituation bringt, sodass die Bearbeitung problemlos weiter erfolgen kann. Dementsprechend wurde vom Hersteller KraussMaffei der Begriff des niO-Teils wie folgt definiert: Wenn ein Teil aus dem Werkstückträger oder dem Werkzeug nicht aufgenommen wird, dann werden alle Teile, die sich bereits in den jeweiligen Greifern befinden, zu niO-Teile. Diese Art von Teilen wird aussortiert. Dazu werden diese durch den Roboter zur Anguss- und niO-Teil-Ablage gefahren und dort abgelegt. Die aussortierten Stanzpakete, unabhängig ob umspritzt oder nicht, werden anschließend entsorgt. Bei der Entnahme aus dem Werkzeug muss der Werker das nicht aufgenommene Teil manuell aus der Spritzgießmaschine entfernen. Bei Fehlaufnahme aus dem Werkstückträger wird dieser weiter geschoben, sodass es zu keinen Komplikationen bei der Aufnahme und Ablage im nächsten Zyklus kommt. Daraufhin wird die Fertigung wieder aufgenommen.

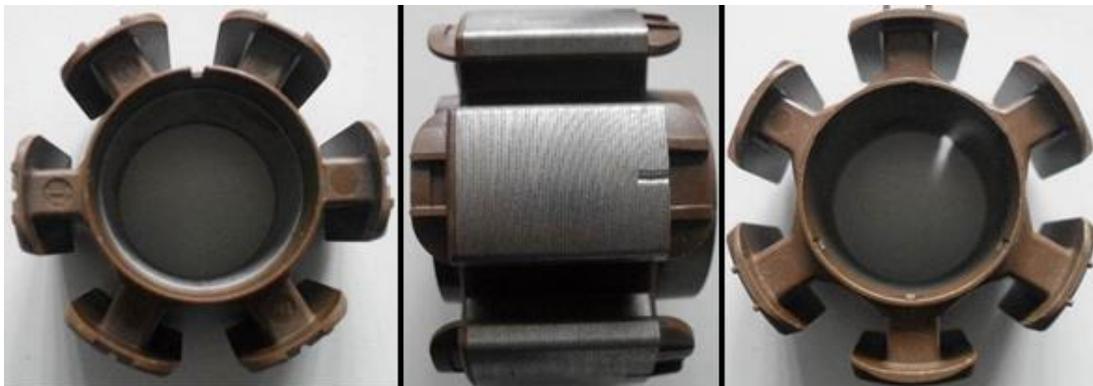
### 4.1.3 Sonderbetriebsarten

Da die Anlage gestartet und angehalten werden muss, gibt es Sonderbetriebsarten, die das ermöglichen. Diese Betriebsarten werden nachfolgend kurz erläutert. Um die Anlage starten zu können ist der Anfahrbetrieb vorgesehen. Bei diesem wird der Ofen mit vollen Werkstückträgern gefüllt. Dies geschieht manuell durch den Werker im Handbetrieb der Anlage. Dazu muss der Werker zunächst das Umlaufband und den Ofen einschalten. Danach werden alle Werkstückträger mit vier Stanzpaketen bestückt. Die anschließende Prüfung läuft genauso ab wie im Normalbetrieb, jedoch muss die Einlasstür des Ofens bei jedem Werkstückträger manuell per Knopfdruck geöffnet und geschlossen werden. Die hintere Tür des Ofens bleibt dabei vorerst verschlossen. Der Ofen wird bestückt bis 20 Werkstückträger im Ofen vorhanden sind. Danach kann in den Automatikbetrieb umgeschaltet werden und die Anlage läuft wie im Kapitel 3.2.1 beschrieben an.

Eine weitere Betriebsart ist der Abräumbetrieb. Dieser dient zum Herunterfahren der Anlage und kann durch einen Schalter am Ofeneingang aktiviert werden. Dabei werden die im Ofen verbliebenen Stanzpakete heraus befördert. Beim Drücken des Abräumtasters wird das Spritzgießen nach Abschluss des letzten Zyklus eingestellt. Die Ofentür wird automatisch geöffnet und die Stopper im Ofen, an dem Aufnahme- und dem Ablagepunkt der Teile lösen sich. Durch das Umlaufband werden die noch bestückten Werkstückträger hintereinander wieder zum Werker zurückgefahren ohne bearbeitet zu werden.

## 4.2 Das Endprodukt

Das resultierende Produkt aus dem Spritzgießvorgang ist ein wickelfähiger Stator<sup>27</sup> für den Elektromaschinenbau. Der angespritzte Kunststoff dient dabei als Nutisolation. Nach der Entnahme aus dem Werkstückträger erfolgt eine Sichtprüfung auf grobe Spritzgießfehler durch die Werker und anschließend werden alle Spritzlinge auf Durchschlagsfestigkeit geprüft. Nachfolgend wird der Grat in einer Strahlmaschine abgeblasen und der Innendurchmesser geprüft. Der Abnehmer der Teile ist das Unternehmen Pierburg Pump Technology GmbH. Der Stator wird in elektronisch kommutierte Motoren<sup>28</sup> verbaut, welche wiederum in der Kühlmittelpumpe CWA 400 eingesetzt werden. Die Kühlmittelpumpen finden Anwendung in der Automobilindustrie zur Motor- und Ladeluftkühlung in Pkws<sup>29</sup>. In der **Abb. 10** ist das umspritzte Paket dargestellt. Die technische Zeichnung ist in **Anlage 6** zu finden.



**Abb. 10** Umspritztes Stanzpaket

---

<sup>27</sup> Der Stator wird nachfolgend ebenso als Fertigteil, Spritzling, umspritztes Stanzpaket oder umspritzter Polring bezeichnet.

<sup>28</sup> Elektronisch kommutierte Motoren werden ebenfalls als bürstenlose Motoren bezeichnet.

<sup>29</sup>

[http://www.kspg.com/fileadmin/media/Broschueren/Produktbroschueren/Pierburg\\_Pump\\_Technology/Wasserumwaelz-\\_und\\_Kuehlmittelpumpen/ppt\\_elek\\_kuehlmittelp\\_d.pdf](http://www.kspg.com/fileadmin/media/Broschueren/Produktbroschueren/Pierburg_Pump_Technology/Wasserumwaelz-_und_Kuehlmittelpumpen/ppt_elek_kuehlmittelp_d.pdf)

## **5 Einschätzung des IR-Einsatzes und Aufzeigen von Schwachstellen**

Der IR-Einsatz wurde kurz nach Abnahme der Anlage überprüft und eingeschätzt. Erwartungsgemäß sind demzufolge Schwachstellen aufgetreten, da die Steuerungen, Bewegungsabläufe und Komponenten noch nicht voll optimiert und aufeinander abgestimmt sind. Die Roboterzelle produziert derzeit im Durchschnitt 230 Teile pro Stunde. Das Produktionsmaximum liegt bei 256 Teilen pro Stunde, jedoch sinkt der Durchsatz produzierter Teile durch andauernde Ausfallzeiten der Anlage. Die Schlechteile haben verschiedene Fehler, wie unzureichende Durchschlagsfestigkeit der Schicht aus PPS, unzulässige Abweichungen im Innendurchmesser und Materialfehler im Kunststoff. Insgesamt benötigen die Teile vom Auflegen in den Werkstückträger bis zum Entnahme durch den Werker im Mittel  $\approx 16$  min, ohne dass Störungen aufgetreten sind. Ein Roboterzyklus, gemessen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ablagen in den Werkstückträger, dauert im Normalbetrieb  $\approx 55$  s. Die Bahnbewegungen und –geschwindigkeiten sind dem Zyklus des Spritzgießens und dem Umlaufband entsprechend angepasst. Es kommt nur zu minimalen Wartezeiten des Roboters, wenn dieser auf die fertige Bearbeitung der Spritzgießmaschine wartet. Der Gesamtzyklus der Anlage kann dabei nicht beschleunigt werden, da das Umlaufband im Normalbetrieb bereits die maximale Geschwindigkeit fährt und die Zeit eines Spritzgießzyklus konstant bleiben muss.

Im Dauerlauf zeigen sich jedoch Schwachstellen, welche den Durchsatz produzierter Teile sinken lässt. Die Werker werden gezwungen in den Prozess einzugreifen oder im schlimmsten Fall die Bearbeitung anzuhalten. Die Eingriffe und Ausfälle gilt es durch konstruktive Anpassungen und Veränderungen im Steuerungsablauf zu minimieren oder im besten Fall zu vermeiden. Weiterhin ist die Materialausnutzung der Anlage nicht optimal. Der Ausschussanteil kann durch Programmerweiterungen oder Änderungen von Komponenten gesenkt werden, sodass an Material gespart wird. Überdies kann der Automationsgrad weiter erhöht werden, damit das Potential der Anlage voll ausgeschöpft werden kann. Dies beinhaltet Erweiterungen des Programmes und Anpassungen der Komponenten. Durch diese kann der Werkeingriff weiterhin minimiert und Prüfungen übernommen werden. Somit kann die Flexibilität

## Einschätzung des IR-Einsatzes und Aufzeigen von Schwachstellen

---

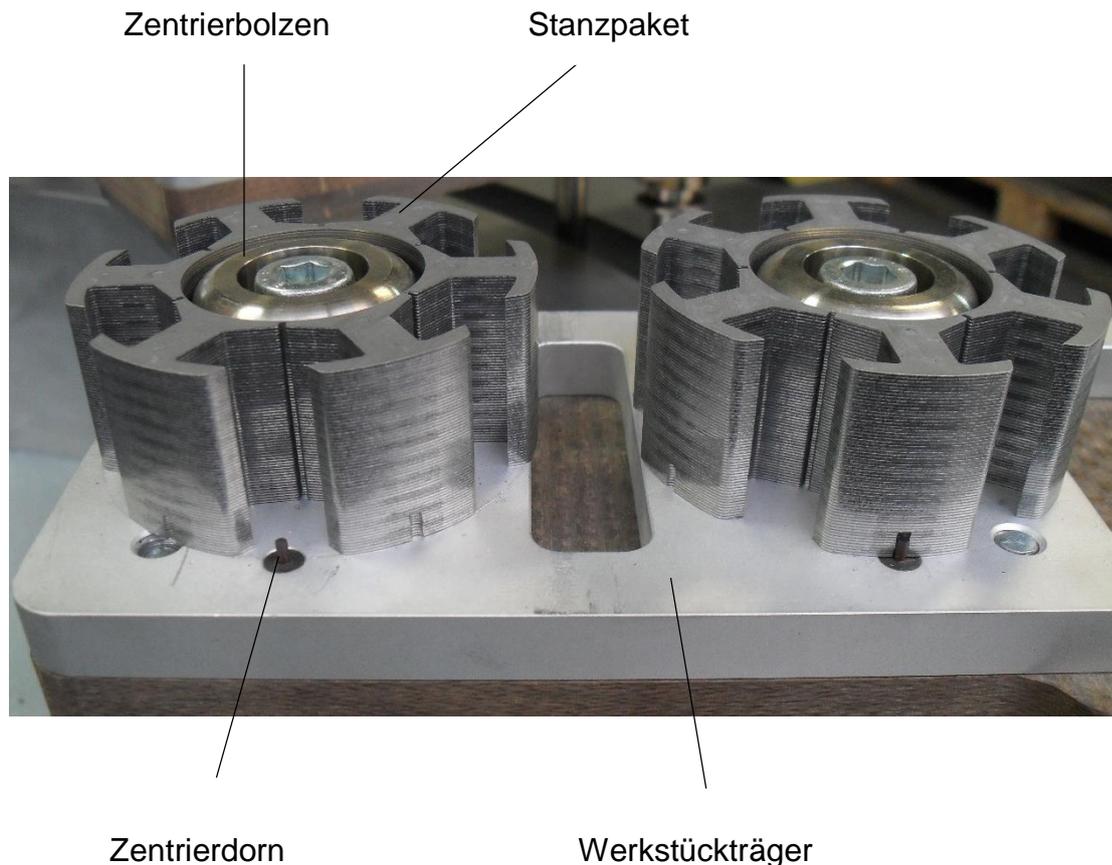
der Anlage in Hinsicht auf unvorhersehbare Einflüsse auf den Produktionsprozess gesteigert werden.

Ebenso gibt es Schwachstellen, die nicht beseitigt werden können, da sie nicht durch den IR beeinflusst werden können. Das betrifft vor allem Fehler, die dem Spritzgießprozess geschuldet sind, z.B. Materialfehler in der Kunststoffschicht aus PPS. Diese Art von Schwachstellen wird in der folgenden Arbeit nicht weiter beachtet. Die weiteren Ausführungen beinhalten Vorschläge zur Verbesserung des IR-Einsatzes und der Produktion der umspritzten Polringe. Dabei werden in den nächsten Kapiteln die aufgetretenen Schwachstellen näher erläutert, die beteiligten Komponenten analysiert und die entsprechende Lösung dargelegt.

## 6 Verhinderungen von Einlegefehlern in den Werkstückträger

Die zuständigen Arbeiter müssen die Werkstückträger manuell mit den Rohteilen bestücken bevor diese zur Höhenprüfung gefahren werden. Da aber mehrere hundert Stanzpakete korrekt eingelegt werden müssen, kann es durch Unaufmerksamkeiten zu Einlegefehlern in den Werkstückträgern kommen. Die falsche Position des Rohteils wird von dem Roboter erst bemerkt, wenn dieser die Teile aufnimmt. Daraufhin stoppt der Roboter und der Werker muss in den Prozess eingreifen, indem er ein Inline-Formular aufruft, welches die niO-Teile zur niO-Rutsche befördert und entsorgt. Der Werkstückträger fährt daraufhin aus der Roboterzelle hinaus. Die Fertigteile, welche sich noch in der Spritzgießmaschine befinden, müssen per Hand entnommen werden. Um Zeit und Material zu sparen, soll diese Fehlerquelle im Voraus eliminiert werden.

Die Kontur der Ober- und Unterfläche des Rohteils unterscheiden sich minimal voneinander. Die ersten 9+2 Stanzbleche besitzen an der Außenkontur jeweils eine Nut. Im Gegensatz dazu sind die Außen bei den übrigen Blechen ungenutzt (vgl. **Anlage 6**). Die zusätzliche Außenkontur dient unter anderem zur Erkennung der Auflagefläche in den Werkstückträgern. Auf dem Werkstückträger befinden sich Zentrierbolzen, auf denen die Stanzpakete aufgesteckt werden. Um die richtige Fläche aufzulegen, hat dazu der Hersteller KraussMaffei einen kleinen Zentrierstift angebracht, welcher in die Außennut eingesteckt werden soll. Trotzdem ist es möglich, das Stanzpaket falsch einzulegen.



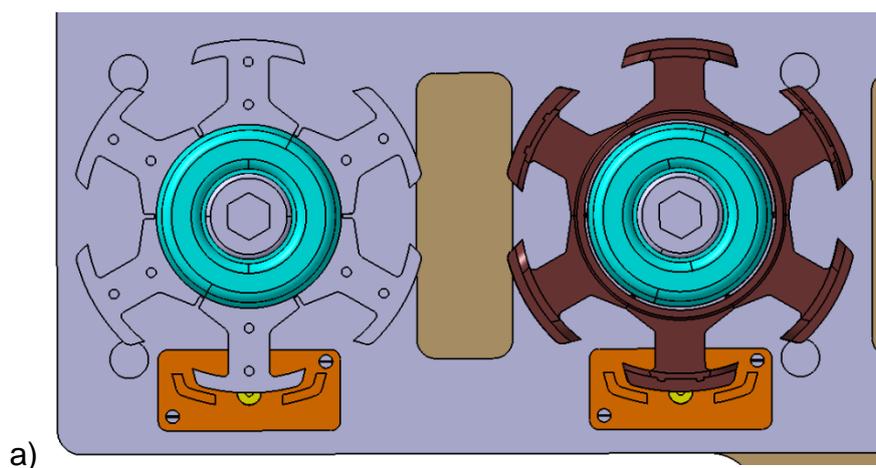
**Abb. 11** Lage der Rohteile im Werkstückträger

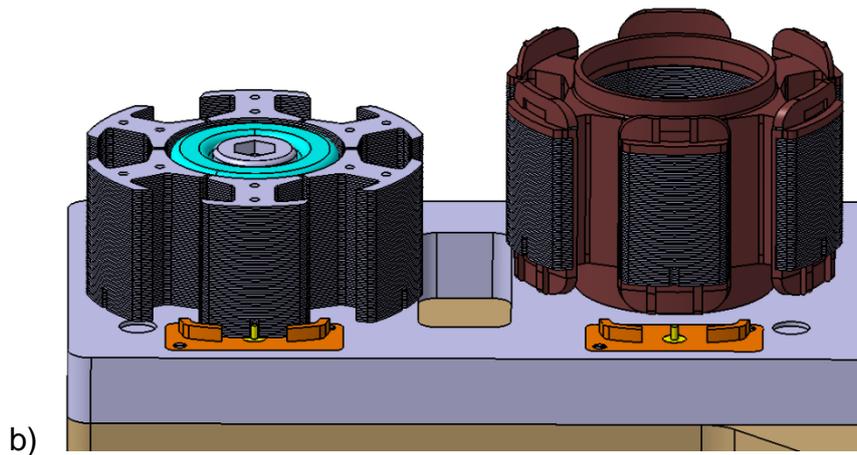
Im obigen Bild (**Abb. 11**) sind die zwei verschiedenen Lagen des Rohteils im Werkstückträger dargestellt. Das rechte Rohteil liegt korrekt auf, und der Zentrierstift steckt in der Außenkontur. Dagegen liegt beim linken Rohteil durch eine Drehung um den Zentrierbolzen keine der Außennuten im Zentrierstift. Dazu wird im Folgenden für diese Problematik ein Lösungsvorschlag erläutert.

Dem zuständigen Werker muss es durch die Lösung unmöglich gemacht werden, das Rohteil falsch aufzulegen. Aus dem Grund sollen weitere Einlegebegrenzungen auf dem Werkstückträger angebracht werden. Dabei muss beachtet werden, dass der Entnahmevergang aus dem Träger nicht behindert werden darf und es zu Komplikationen oder Kollisionen kommen kann. Ebenso müssen die Fertigteile ebenfalls wieder in die Aufnahme abgelegt werden können. Im Normalbetrieb besitzt der Werkstückträger eine Temperatur von 120 °C. Trotzdem werden die Wärmeeinflüsse nicht betrachtet, da die größte Dehnung nur minimal ist ( $\Delta l \approx 0,5 \text{ mm}$ ).

## Verhinderungen von Einlegefehlern in den Werkstückträger

Als Begrenzungsfläche wird ebenfalls die Außenkontur benutzt. Ihre Form und Beschaffenheit verändert sich beim Spritzgießen nicht. Sie dient später als Passfläche zum Rückschlussring im Elektromotor und unterliegt somit hoher Genauigkeit. Als Begrenzung der Flächen sollen zwei der Polzahnform entsprechende Eckprofile mit einer Höhe von 3 mm verwendet werden. Um minimale Toleranzen zu berücksichtigen, die beim Stanzen auftreten, werden diese im Abstand von 1 mm zur Außenfläche der Rohteile angebracht. Die Fertigteilablage ist bei dem Konzept ebenso nicht gefährdet. Die Fertigteile stehen auf dem Innenring und die Polzähne mit der angespritzten Isolierung befinden sich 5 mm über der Standfläche. Somit kann es zu keinem Kontakt mit der Einlegeform kommen. Ebenso können die Greifer durch die Einlegehilfen nicht behindert werden, da diese nur die obere Hälfte der Teile zum Greifen benötigen. Eine fehlerfreie Aufnahme und Ablage der Teile ist somit möglich. Die Eckprofile sollen auf einer Platte angebracht werden. Da der Zentrierstift, welcher einen Bund und Außengewinde besitzt, in das dafür entsprechende Gewinde gedreht werden muss, wird in der Platte an der derjenigen Stelle eine Bohrung eingefügt. Damit die Platte in den Werkstückträger eben eingefügt werden kann, muss eine Tasche mit den entsprechenden Maßen der Platte ausgefräst werden. Befestigt wird diese dann durch zwei Senkschrauben, die sich an zwei gegenüberliegenden Ecken der Platte befinden. Dafür müssen dementsprechend Gewinde eingefügt werden.





**Abb. 12** Lösung zur Verhinderung von Einlegefehler

a) Draufsicht, b) Schrägansicht

Die Zeichnung der Lösung wird in **Abb. 12** dargestellt. Das Bild enthält die Draufsicht und Schrägsicht auf einen halben Werkstückträger. Auf diesen befinden sich ein Roh- und ein Fertigteil, welche auf den Zentrierbolzen (blau) aufgesteckt sind. In orangener Farbe ist die zusätzlich montierte Einlegehilfe gekennzeichnet und durch dessen der Zentrierstift (gelb) gesteckt wird. Aufgrund der Eckprofile ist eine falsche Auflage des Rohteils nicht mehr möglich, da bei Verdrehung um den Zentrierbolzen die Polzähne an diese stoßen. Innerhalb der Eckprofile wird dem Stanzpaket durch den Sicherheitsabstand von 1 mm ein kleiner Spielraum gewährt. Dieser wird aber durch den Zentrierstift eingegrenzt, sodass das Rohteil nur richtig aufgelegt werden kann. Weiterhin berührt das Fertigteil, wie vorher schon beschrieben, die Eckprofile nicht und die Fertigteilablage kann normal erfolgen. Der Lösungsvorschlag bereitet natürlich Aufwand, da 120 dieser Einlegehilfen gefertigt werden müssen, um die 30 Werkstückträger bestücken zu können. Jedoch können dadurch der Ausschuss der Rohteile und die Stillstandszeit der Anlage vermindert werden. Weiterhin hat das Konzept den Vorteil, dass bei Konturänderung des Stanzpakets die Einlegehilfe entfernt und dementsprechend eine angepasste eingefügt werden kann. Somit ist die Anlage nicht nur an dieses Produkt gebunden und kann in Zukunft universell an andere Hybrid-Spritzgieß-Produktionen angepasst werden.

## **7 Vorschläge zur Optimierung der bestehenden Steuerung**

### **7.1 Anfahrbetrieb vollautomatisieren**

Wie in Kapitel 4.1.3 beschrieben, muss der Werker beim Anfahrbetrieb zusätzlich zur Werkstückträgerbestückung die Ofentür manuell öffnen und schließen mittels zweier Schalter. Um den Werker von der Aufgabe der manuellen Befüllung des Ofens zu entbinden, soll diese ebenfalls programmiert werden. Der Werker kann währenddessen andere Aufgaben erledigen, soweit die Höhen der Stanzpakete zulässig sind und keine Fehlermeldungen auftreten. Im Handbediengerät sind Hauptprogramme und Inline-Formulare hinterlegt, welche angewählt werden können. Das einzige Hauptprogramm ist derzeit das Programm s1\_main, welches den Normalbetrieb startet. Um diese Problematik zu lösen, soll ein weiteres Programm hinterlegt werden, welches im Automatikbetrieb angewählt werden kann. In der weiteren Bearbeitung werden die induktiven Sensoren an den Stoppern wie folgt bezeichnet: Sensor 1 des Stoppers 1 entspricht Sensor 1.1, Sensor 2 des Stoppers 3 entspricht Sensor 3.2, usw.. Wenn ein Werkstückträger in das Wechselfeld des Sensors kommt, liefert er eine 1, anderenfalls eine 0 (Schließerprinzip). Die Steuerungsanweisungen werden in Form von Programmablaufplänen (PAP) dargestellt.

Dem neuen Startprogramm muss ein unverwechselbarer Name gegeben werden (wie z.B. s1\_start oder s1\_befuellung\_ofen), sodass es zu keiner Verwechslung bei der Anwahl kommt. Im Nachfolgenden wird das neue Programm erklärt und Einzelheiten dargestellt. Nach dem Herunterfahren der Anlage befinden sich alle Werkstückträger in Reihe am ersten Stopper. Diese müssen allesamt im Voraus vom Werker manuell bestückt werden, sonst kommt es zu Fehlermeldungen bei der Höhenprüfung. Um die Anlage mit dem neuen Programm starten zu können, muss diese in den Automatikbetrieb geschaltet und über das Handbediengerät das Startprogramm angewählt werden. Zudem müssen das Umlaufband und der Ofen ebenfalls eingeschaltet werden.

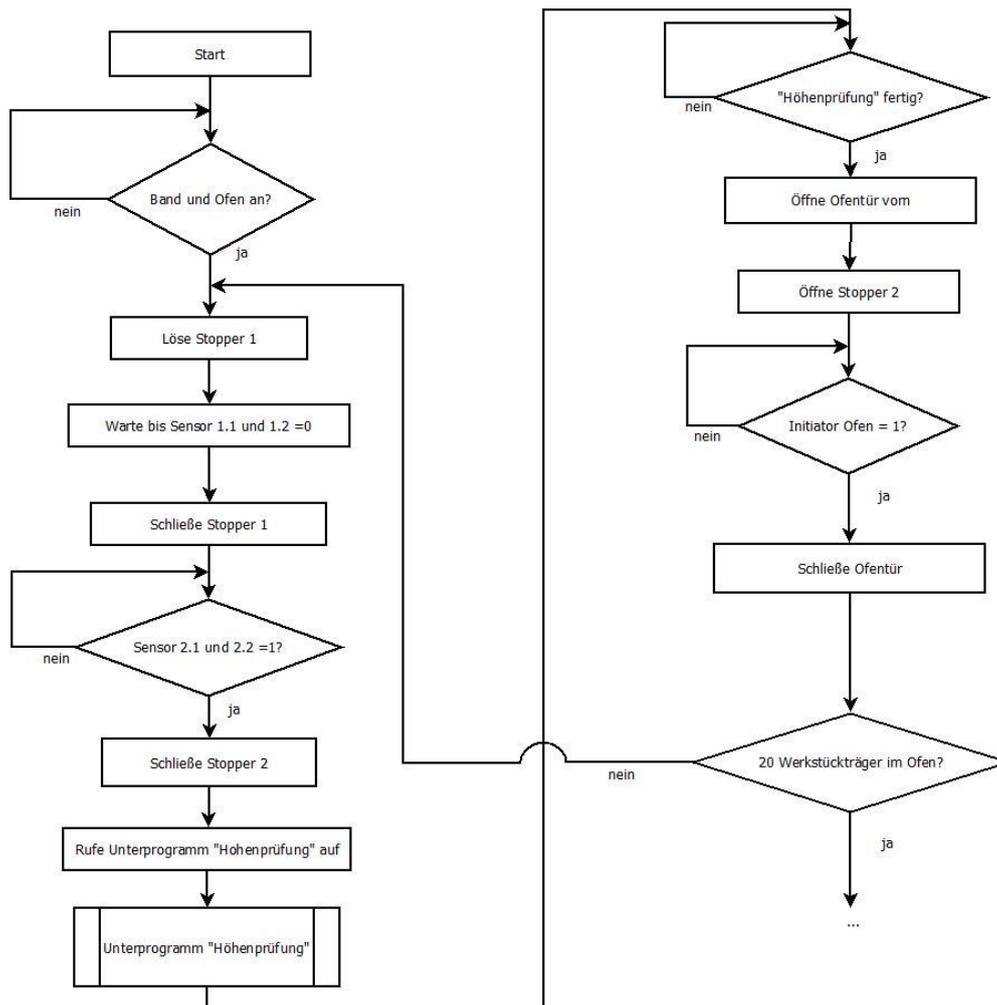


Abb. 13 Programmablaufplan für den Start (Teil 1)

In der **Abb. 13** ist der erste Teil des Programmablaufplanes für den Anfahrbetrieb dargestellt. Dabei verbleibt der Roboter in Stillstand und befindet sich dabei in Grundstellung. Die Spritzgießmaschine wird während der Programmausführung hochgefahren und erhitzt sich, sodass dieser bereit zur Bearbeitung ist. Währenddessen muss der erste Teil des Anfahrprogrammes abgeschlossen sein, um eine zulässigen Start zu gewähren.

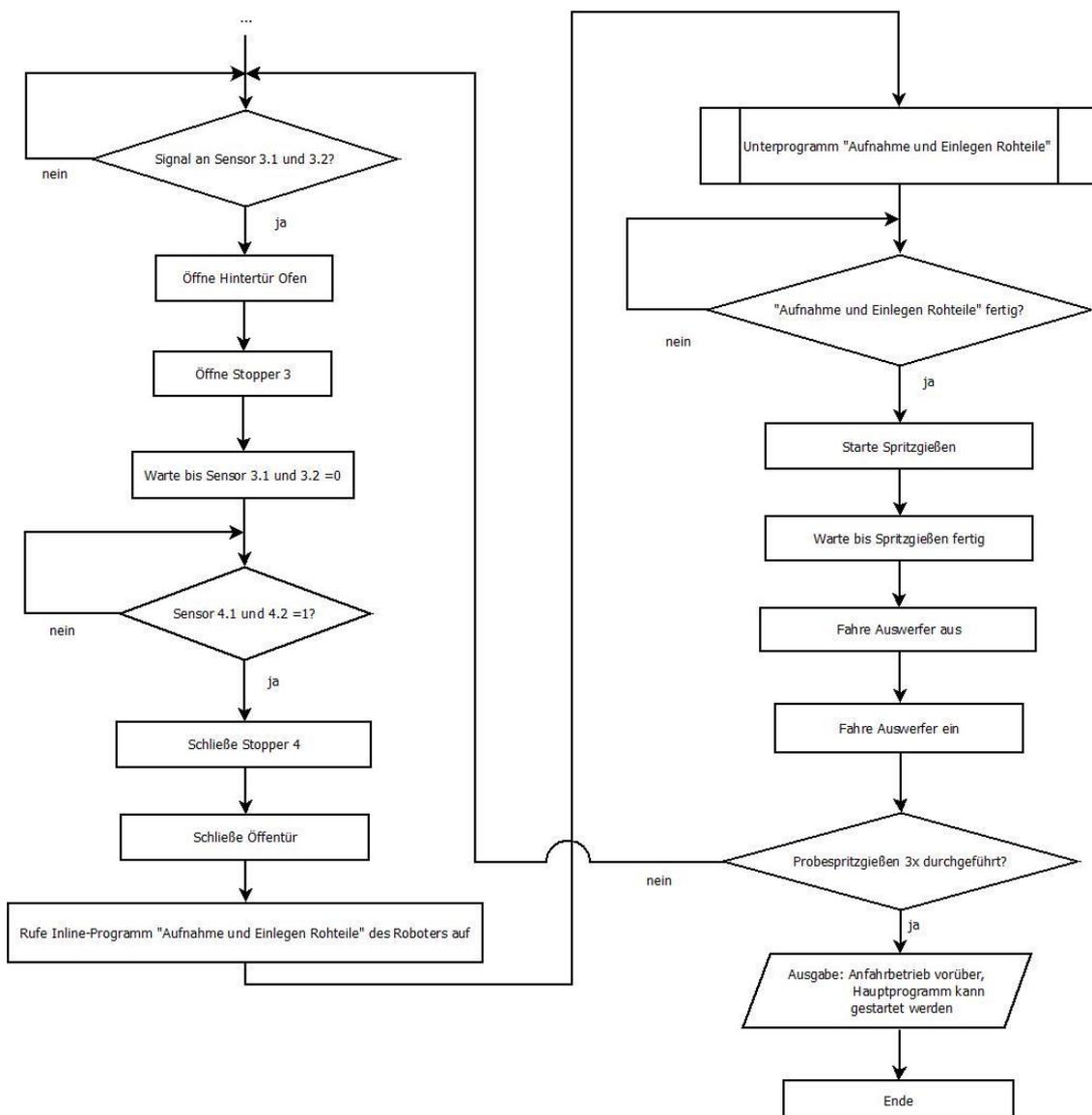
Nach Anwahl des Startprogrammes wird geprüft, ob das Band und der Ofen manuell gestartet wurden. Das Programm wartet solange bis das der Fall ist. Diese Bedingungen dienen zur Sicherheit der Bearbeitung der Rohteile. Würde das Band an dieser Stelle noch nicht laufen, dann verbleiben die Werkstückträger am ersten Stopper. Wäre anderenfalls der Ofen nicht eingeschaltet, würde sich dieser nicht

aufheizen. Das hat zur Folge, dass die Werkstückträger samt Stanzpakete zwar zur Höhenprüfung und in den Ofen gelangen, aber die Stanzpakete nicht erhitzt werden. Dadurch wird eine Weiterverarbeitung derer unzulässig. Nachdem der Ofen gestartet ist, wird automatisch durch die Steuerung des Ofens eine Temperaturüberwachung eingeschaltet. Diese stoppt die Bearbeitung bei Temperaturabfall.

Nachdem die erste Abfrage erfolgt ist, löst sich der erste Stopper. Durch diesen wird der erste Werkstückträger zur Höhenprüfung gefahren. Anschließend wird er an der Höhenprüfung gestoppt. Danach wird das Unterprogramm der Höhenprüfung aufgerufen. Nachdem die Höhenprüfung erfolgt ist und alle Rohteile die nötige Höhe besitzen, öffnet sich die vordere Ofentür und der zweite Stopper löst sich. Hinter der Ofentür befindet sich ein induktiver Sensor. Wenn dieser passiert wird, dann schließt sich die Tür. Nachdem die Ofentür geschlossen ist, müssen die Sensoren 3.1 und 3.2 permanent abfragen, ob sich ein Werkstückträger am dritten Stopper befindet und bei einem 1-Signal zugreifen (nicht im PAP enthalten). Sonst kommt es zu einer Kollision zwischen dem Werkstückträger und der hinteren Ofentür. Das letzte Element ist ein Vergleich. Der Ofen besitzt einen Zähler, welcher die im Ofen befindlichen Werkstückträger zählt. Durch den Vergleich entsteht eine Schleife, welche sich 20 Mal wiederholt, da im Ofen bis zu 20 Werkstückträger zum Vorwärmen Platz haben. Nach dem Erreichen dieser Anzahl und der erforderlichen Durchwärmzeit der Rohteile erfolgt der zweite Teil des Startprogrammes. Zu diesem Zeitpunkt muss sich die Spritzgießmaschine vollständig erhitzt haben. Beim Start der Fertigung müssen zum Anfang drei Probegüsse gespritzt werden. Diese sind nötig, um die Maschine in den erforderlichen Betriebszustand zu bringen. Die hierbei gespritzten Teile werden nicht weiter verarbeitet. Bisher wird die Aufgabe noch manuell vom Werker erledigt. Jedoch besitzt die Spritzgießmaschine im Werkzeug automatische Auswerfer, welche benutzt werden können, um die Spitzlinge selbst aus dem Werkzeug zu stoßen. Deswegen kann die Aufgabe auch ohne Werkereingriff erfolgen. Der zweite Teil des PAP des Startprogramms ist in der **Abb. 14** dargestellt und folgt direkt auf den ersten Teil. Zuerst werden die Sensoren 3.1 und 3.2 abgefragt, ob sich ein Werkstückträger im Stopper 3 befindet. Ist kein Werkstückträger an dieser Position, dann weist das darauf hin, dass sich der vorderste Werkstückträger im Ofen verklemmt hat. Ist das der Fall, dann kommt es zu einer Endlosschleife und der Anfahrbetrieb kann nicht ordnungsgemäß fortgeführt werden. Der Werker müsste daraufhin den Ofen

## Vorschläge zur Optimierung der bestehenden Steuerung

ausschalten, damit dieser sich abkühlt und ein Eingriff möglich ist. Die Auftretenswahrscheinlichkeit dieses Fehlers ist aber sehr gering. Befindet sich ein Werkstückträger korrekt im Stopper 3, dann wird die Hintertür des Ofens und der Stopper 3 geöffnet. Der Werkstückträger fährt aus dem Ofen hinaus und kommt anschließend in die Wechselfelder der Sensoren 4.1 und 4.2. Daraufhin greift der vierte Stopper zu. Der Werkstückträger befindet sich nun an der Aufnahmestelle der Rohteile. Anschließend wird das Inline-Formular „Aufnahme und Einlegen Rohteile“ gestartet. Der Roboter fährt nun aus seiner Grundstellung zum Werkstückträger und nimmt die Rohteile paarweise auf. Anschließend fährt dieser zur Spritzgießmaschine



**Abb. 14** Programmablaufplan für den Start (Teil 2)

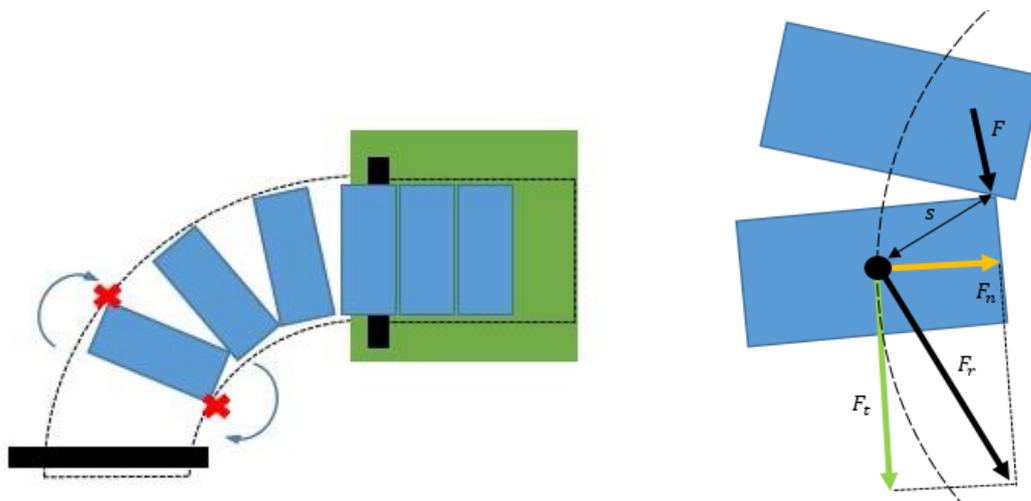
## Vorschläge zur Optimierung der bestehenden Steuerung

und legt die Stanzpakete in die Formnester ein. Der Roboter zieht sich dann aus der Werkzeugebene in die Grundstellung zurück und das Inline-Formular ist somit abgearbeitet. Nun startet das Spritzgießprogramm. Hierbei wird vorausgesetzt, dass sich die Spritzgießmaschine bereits im arbeitsfähigen Zustand befindet. Nach dem Einlegen der Rohteile wird das Werkzeug geschlossen und die Stanzpakete werden umspritzt. Nach einer Abkühlzeit von 25 s öffnet sich das Werkzeug wieder. Die Spritzlinge werden dann durch die ansteuerbaren Auswerfer aus dem Werkzeug gestoßen und fallen in eine unter dem Werkzeug platzierte Kiste. Dieses Probespritzgießen soll insgesamt 3 Mal erfolgen. Dafür muss ein Zähler in das Programm integriert sein, der z.B. die Aufrufe des Inline-Formulars „Aufnahme und Einlegen Rohteile“ oder die Starts der Spritzgießvorgänge zählt. Danach muss der Zähler mit dem Wert 3 verglichen werden. Durch den Vergleich entsteht eine Schleife, welche 3 Mal durchlaufen wird, bevor das Programm weiter abgearbeitet wird. Um sicherzustellen, dass kein Fertigteil im Werkzeug hängen bleibt, können Lichtschranken verbaut werden. Diese müssen entsprechend positioniert werden, sodass diese das Werkzeug „durchleuchten“. Wenn einer dieser Sensoren ein Signal ausgibt, muss die Bearbeitung stoppen und der Werker das verbliebene Teil manuell aus dem Werkzeug entfernen. Danach kann das Startprogramm normal fortgesetzt werden. Abschließend soll eine Ausgabe auf dem Bedienhandgerät zur Information des Werkers erfolgen mit der Nachricht, dass das Startprogramm durchlaufen wurde und die Anlage in den Normalbetrieb geschaltet werden kann.

Im Ofen befinden sich nach dem Befüllungsprogramm 17 Werkstückträger, welche ausreichend sind um die Bearbeitung zu starten. Bei der Anwahl des Hauptprogrammes wird der erste Werkstückträger aus dem Ofen gefahren und gleichzeitig wird ein Werkstückträger vom ersten Stopper zur Höhenprüfung transportiert. Dadurch bleibt die Anzahl der Werkstückträger im Ofen stets konstant. Demnach ist die Zuführung von durchwärmten Rohteilen zum Roboter gewährleistet und die Anlage kann die Produktion aufnehmen. Durch die Implementierung des Startprogrammes wird der Arbeiter entlastet und kann während der Bestückungszeit andere Aufgaben erledigen.

## 7.2 Verhindern des Verkantens der Werkstückträger

Beim Abräumbetrieb werden alle Werkstückträger, welche sich im Ofen befinden, ohne umspritzt zu werden zum Werker zurück gefahren (siehe Kapitel 4.1.3). Die Werkstückträger fahren dabei hintereinander aus dem Ofen heraus und stoßen bei der Kurvenfahrt aneinander. Da die Führungen ein hohes Spiel aufweisen, führen dies zum Verkanten der Werkstückträger. In der nachfolgenden Abbildung wird das Prinzip der Problematik dargestellt.



**Abb. 15** Verkanten des Werkstückträgers

Im linken Bild werden die vereinfachten Füße der Werkstückträger (blau) beim Abräumbetrieb gezeigt. Die schwarze, gestrichelte Linie stellt die Führung des Umlaufbandes dar. Die Stopper 3 und 4 sind in schwarz und der Ofenbereich in grün dargestellt. Bei der Ausfahrt aus dem Ofen stoßen die Werkstückträger aneinander und verkanten sich in der Führung. In dem rechten Bild sind herrschenden Kraftvektoren am vordersten Werkstückträger eingezeichnet (Reibungskräfte bleiben unberücksichtigt). Die Tangentialkraft  $F_t$  und die Normalkraft  $F_n$  greifen am Schwerpunkt des Körpers an und bilden die resultierende Kraft  $F_r$ . Durch diese erfährt der Körper eine gleichgerichtete Beschleunigung entlang der Führung. Aufgrund des Anstoßens der Werkstückträger wirkt eine weitere Kraft  $F$ . Da diese nicht im Körperschwerpunkt angreift, bewirkt diese ein Moment mit dem Hebelarm  $s$  und somit

## Vorschläge zur Optimierung der bestehenden Steuerung

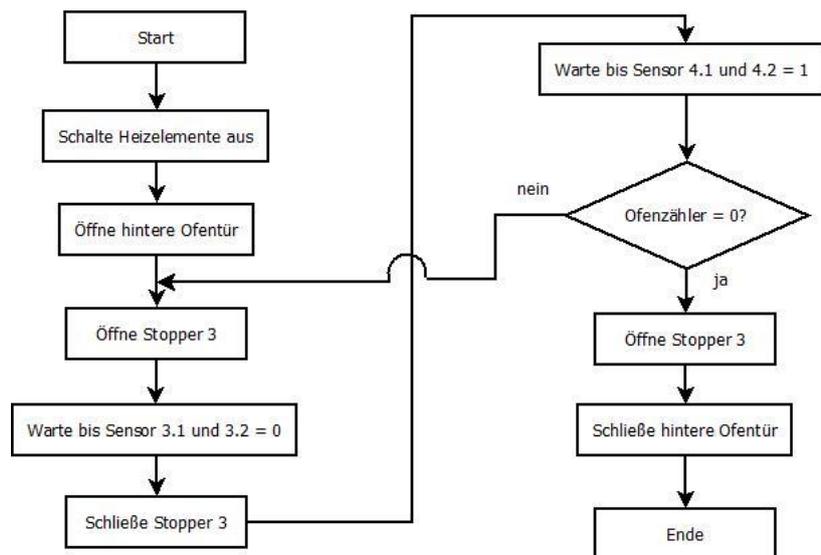
eine Drehung des Werkstückträgers um dessen Schwerpunkt (siehe blaue Pfeile). Die Drehung erfolgt bis die zwei gegenüberliegenden Kanten (siehe Abbildung) an die Führung anschlagen. Der vorderste Werkstückträger kann nun nicht mehr weiter bewegt werden, da dieser arretiert. Das Entleeren des Ofens wird somit unmöglich. Wenn dieses Problem auftritt, muss der Werker die Anlage anhalten und den verklemmten Werkstückträger von selbst lösen. Dadurch wird der Abräumprozess unnötig unterbrochen und es geht Zeit verloren.

Es gibt zwei Möglichkeiten dieses Problem zu umgehen. Dabei werden keine konstruktiven Änderungen vorgenommen, sondern das Ablaufprogramm angepasst. Die Lösungen setzen voraus, dass keine Werkstückträger mehr in den Ofen gelassen werden, damit dieser entleert werden kann. Die erste Lösung besteht darin, dass eine Schleife aktiviert wird sobald die Anlage in den Abräumbetrieb geschaltet wird. Die Schleife bezweckt, dass die Einlege-, Entnahme- und Spritzgießprogramme so oft durchlaufen werden, sodass sich kein Werkstückträger mehr im Ofen befindet. Den Zählwert liefert ein bereits integrierter Ofenzähler, der die Anzahl der in ihm befindlichen Werkstückträger wiedergibt. Dieser Wert kann abgegriffen und benutzt werden. Dadurch, dass die Bearbeitung normal fortgesetzt wird, kann es zu keiner Aufstauung der Werkstückträger in der Kurven kommen, da diese einzeln aus dem Ofen herausgefahren werden. Nachdem alle restlichen Stanzpakete bearbeitet worden sind, müssen die Heizelemente des Ofens abgeschaltet werden. Diese Lösung ist ohne großen Aufwand umzusetzen, jedoch bringt diese Nachteile mit sich. Durch die andauernde Bearbeitung ist keine schnelle Reaktion auf unvorhersehbare Defekte möglich. Wenn die Anlage infolge eines Defektes am Werkzeug heruntergefahren werden soll, dann werden die restlichen Polringe in dem unbrauchbaren Werkzeug weiterhin umspritzt. Das hat zur Folge, dass der Spritzgießvorgang nicht unter den zulässigen Bedingungen stattfindet. Die daraus resultierenden Spritzlinge weisen demnach Fehler auf und es wird somit unnötig Ausschuss produziert. Im Ofen befinden sich zwischen 13-17 Werkstückträger. Demnach werden im schlimmsten Fall bis zu 68 Schlechteile hergestellt. Überdies kommt es zu Komplikationen bei Fehlern am Roboter oder an der Spritzgießmaschine. Wenn diese zwei Komponenten nicht mehr funktionieren, dann ist die Bearbeitung der Stanzpakete nicht mehr möglich. Demzufolge muss die Anlage per Hand gestoppt werden. Die Werkstückträger befinden sich zu dem Zeitpunkt noch im Ofen. Wenn der Ofen abgekühlt ist, müssen

## Vorschläge zur Optimierung der bestehenden Steuerung

dann die Werkstückträger manuell weiter geschoben werden. Dieses Unterfangen ist mit Zeit und Aufwand verbunden.

Die zweite Möglichkeit das Verkanten zu verhindern, besteht darin, die Werkstückträger einzeln aus dem Ofen herauszufahren. Der am Ofen befindliche Stopper lässt nur ein Werkstückträger passieren und schließt sich danach wieder. Der erste Werkstückträger wird durch das Umlaufband aus der Zelle heraus transportiert. Die anderen Werkstückträger befinden sich weiterhin im Ofen. Nach einem Takt wird der nächste Werkstückträger aus dem Ofen gefahren. Demnach ist kein Anstoßen untereinander mehr möglich. In der **Abb. 16** ist der PAP einer möglichen Umsetzung dargestellt.



**Abb. 16** PAP zur Verhinderung des Verkantens der Werkstückträger

Gestartet wird dieser Betrieb durch Betätigung eines Schalters. Der Roboter und die Spritzgießmaschine beenden daraufhin den letzten Bearbeitungszyklus und fahren danach in Grundstellung und gehen in den Ruhezustand. Da die Stanzpakete nicht mehr bearbeitet werden, können diese abgekühlt werden. Dazu werden die Heizelemente des Ofens ausgeschaltet. Danach öffnet sich die hintere Ofentür. Diese bleibt während des ganzen Abräumbetriebes geöffnet. Anschließend löst sich der dritte

Stopper und die Werkstückträger kommen in Bewegung. Nachdem der vorderste Werkstückträger nicht mehr durch die induktiven Sensoren wahrgenommen wird, greift der Stopper 3 wieder zu. Außer dem vordersten Werkstückträger kommen alle zum Stillstand. Dieser bewegt sich zum vierten Stopper und kommt in die Schaltbereiche der Sensoren 4.1 und 4.2. Wenn beide Sensoren ein 1-Signal liefern, löst sich der dritte Stopper und es wird wiederum ein Werkstückträger aus dem Ofen heraus befördert. Der vierte Stopper greift dabei nicht zu. Da der vorderste Werkstückträger nun genügend Vorsprung zum nächsten hat, können diese nicht aneinander stoßen und somit verkanten. Diese Prozedur wiederholt sich, bis sich keine Werkstückträger mehr im Ofen befinden. In den letzten beiden Schritten werden der dritte Stopper und der Ofen in den Ausgangszustand gebracht. Dabei wird der Stopper 3 gelöst und die hintere Ofentür geschlossen. Wenn sich alle Werkstückträger am ersten Stopper aufgestaut haben, kann das Band manuell angehalten werden.

Dieser Lösungsvorschlag unterbindet das Verkanten der Werkstückträger. Durch das getaktete Herausfahren aus dem Ofen wird dessen Anstoß verhindert. Als Taktgeber dienen die Sensoren 4.1 und 4.2. Ebenso könnten die Sensoren 5.1 und 5.2 dafür verwendet werden, jedoch sind die Abstände zwischen den Werkstückträger größer und der Abräumbetrieb dauert länger. Weiterhin wird auf ein Taktsignal von der SPS verzichtet. Dieses kann zwar zum Einsatz kommen, aber falls ein Werkstückträger trotzdem in der Kurvenfahrt hängen bleibt, dann werden die nächsten gelöst und die Gefahr des Verkantens besteht wiederum. Mit dem vorgeschlagenen Konzept besteht die Sicherheit, dass der Werkstückträger die Sensoren 4.1 und 4.2 passiert hat, bevor der dritte Stopper sich löst. Der Werkereingriff wird somit ausgeschlossen.

### **7.3 Reduzierung des Ausschusses durch Fehlgriff**

Der Fehlgriff des Roboters von Teilen aus dem Werkzeugträger und dem Werkzeug tritt mehrmals an einen Produktionstag auf. Das hat zur Folge, dass dadurch viel Ausschuss entsteht. Problematisch hierbei ist die Ausnutzung des Materials der Roh- und Fertigteile. Wenn ein Teil nicht gegriffen werden kann, werden mehrere Teile

## Vorschläge zur Optimierung der bestehenden Steuerung

zugleich aussortiert. Das bedeutet im Gegenschluss, dass sich ein Greiffehler mit einer hoher Wichtung auf den Ausschuss auswirkt. In den weiteren Ausführungen wird angenommen, dass die Rohteile richtig in den Werkstückträger eingelegt sind.

Die Fehler bei den Greifvorgängen sind einerseits damit begründet, dass die geteachten Greifpositionen nicht genau genug sind. Zum Einlernen der Anfahrpositionen wurde das Teach-In-Verfahren<sup>30</sup> angewendet. Dieses ist zwar schnell und einfach zu handhaben, jedoch sind damit keine idealen Punkte realisierbar, da die Genauigkeit der Augen meist nicht ausreichend ist. Andererseits macht sich der Wärmeeinfluss der Spritzgießmaschine und des Ofens auf die Mechanik des Roboters bemerkbar. Aufgrund von Wärmeausdehnungen entstehen bei anhaltendem Betrieb „ungenauere Bewegungen“. In der Zelle herrscht im Normalbetrieb eine erhöhte Temperatur. Da die geteachten Punkte nicht korrigiert werden sollen und der Roboter nicht gegenüber der herrschenden Temperatur isoliert werden kann, sind Erweiterungen nötig, um dieses Problem einzugrenzen.

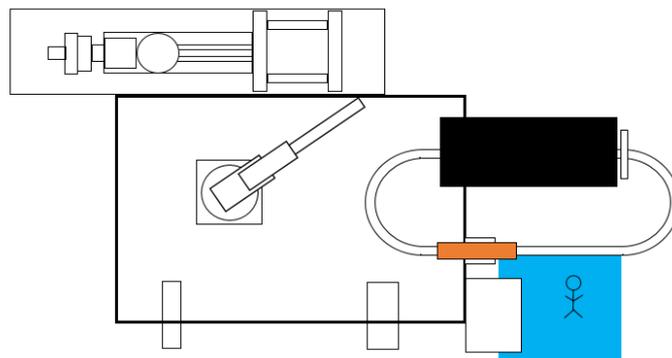
Die Fehlgriffe treten einerseits bei der Aufnahme der Rohteile aus dem Werkstückträger auf. Ein Laserreflexlichttaster überprüft, ob alle Einlegegreifer nach der Aufnahme bestückt sind. Sind alle Greifer bestückt, erfolgt die Bearbeitung wie in Kapitel 4.1.1 beschrieben. Anderenfalls fährt der Roboter in Grundstellung und hält die Bearbeitung an. Daraufhin muss der Werker das Inline-Formular aufrufen, durch welches die Rohteile über der niO-Rutsche abgelegt werden. Diese rutschen in eine Kiste, deformieren sich durch den Aufschlag und werden dadurch unbrauchbar. Die nicht aufgenommenen Rohteile werden manuell aus dem Werkstückträger genommen und entsorgt. Die Fertigteile, welche sich in der Spritzgießmaschine befinden, werden durch den Werker entnommen. Diese werden nicht aus der Produktion ausgeschlossen. Daraufhin wird das Bearbeitungsprogramm neu gestartet und ein befüllter Werkstückträger fährt zum Aufnahmepunkt des Roboters.

---

<sup>30</sup> Beim Teach-In-Verfahren werden Raumpunkte über das Handbediengerät angefahren und deren Position wird abgespeichert. Diese Punkte können für das spätere Bewegungsprogramm benutzt werden.

## Vorschläge zur Optimierung der bestehenden Steuerung

Um den daraus entstanden Ausschuss zu minimieren, soll eine weitere Ablagegestelle in die Zelle integriert werden. Diese soll sich über den Eingriffschutz des Teilerücklaufs befinden und die Rohteile wieder zurück zum Werker fördern. Die Rutsche soll ähnlich der QS-Rutsche ausgeführt sein und die Teile am Ende der Rutschbahn stoppen. Befestigt wird diese an zwei Profilschienen, welche an zwei Pfosten der Einhausung angebracht werden. Eine mögliche Einbringung in die Einhausung ist in der **Abb. 17** dargestellt.



**Abb. 17** Rutsche der Rohteile

Im oberen Bild ist eine Skizze der Fertigungszelle dargestellt. Die neue Rutsche ist in orange eingezeichnet. Durch diese werden die Rohteile zurück zum Arbeitsbereich des Werkers (blau) gefördert. Dieser entnimmt die Teile und legt diese wieder in einen leeren Werkstückträger auf. Die Rutsche muss dementsprechend in der Einhausung angebracht werden, dass der Roboter diese aufgrund seiner maximalen Reichweite erreichen kann. Außerdem darf der Ablagepunkt der Fertigteile nicht blockiert werden und der Durchlauf der Werkstückträger unter dieser hindurch muss weiterhin möglich sein. Zudem darf der Abrutschwinkel nicht zu groß sein, da durch die wirkende Hangabtriebskraft eine Deformation der Teile beim Aufprall möglich ist. Die Weiterverarbeitung deformierter Rohteile ist nicht zulässig. Die zusätzliche Rutsche wird angefahren, wenn mindestens ein Stanzpaket nicht aufgenommen werden konnte. Der Roboter legt die im Greifer befindlichen Rohteile auf der Rutsche ab und fährt in Grundstellung. Der Werkstückträger, in dem sich nach der Aufnahme noch

## Vorschläge zur Optimierung der bestehenden Steuerung

mindestens ein Teil befindet, wird zurück zum Werker gefahren. Daraufhin wird der nächste, befüllte Werkstückträger zum Aufnahmepunkt transportiert und die Teileentnahme erfolgt erneut. Die Produktion kann normal fortgesetzt werden.

Anderenfalls besteht die Möglichkeit, dass Fertigteile nicht richtig aus dem Werkzeug entnommen werden können. Die Teileanwesenheit wird durch Laserreflexlichttaster an den Einzelgreifern überprüft. Wenn ein Spritzling fehlt, dann entsorgt der Roboter daraufhin die aufgenommenen Spritzlinge und die im Greifer befindlichen Rohteile und begibt sich in Grundstellung. Der leere Werkstückträger, der am Ablagepunkt für die Fertigteile wartet, wird zum Werker befördert. Das im Werkzeug verbliebene Fertigteil muss manuell entnommen werden. Die Anlage befindet sich nun im Ausgangszustand und das Programm wird darauf neu gestartet. Um weniger Teile aus der Produktion auszuwerfen, wird hier ebenfalls das Programm angepasst. Bei einem Fehlgriff werden die nicht aufgenommenen Fertigteile über Ansteuerung der Ausstoßer des Werkzeuges in eine Kiste ausgeworfen. Diese befindet sich unterhalb der Werkzeugebene. Die Kontrolle, ob alle Fertigteile ausgestoßen wurden, erfolgt über Lichttaster, welche die Werkzeugebene untersuchen (siehe Kapitel 7.2). Daraufhin werden die Rohteile normal in das Werkzeug eingelegt. Die übrigen Fertigteile werden zur Angussrutsche gefahren und deren Anguss wird abgetrennt. Danach werden die aufgenommenen Fertigteile ordnungsgemäß auf dem Werkstückträger abgelegt. Dass dieser nicht voll bestückt ist, hat keinen Einfluss auf den weiteren Produktionsprozess, da die Fertigteile ohnehin manuell aus dem Werkstückträger entnommen und geprüft werden.

Durch die beiden Anpassungen in der Steuerung und der zusätzlichen Rutsche wird der Ausschuss von Roh- und Fertigteilen erheblich reduziert. Somit können durch Ausschuss entstandene Material- und Produktionskosten gesenkt und die Effizienz der Anlage gesteigert werden. Weiterhin reagiert der Roboter selbst auf die entstandenen Fehlgriffe. Somit muss der Werker nicht in den Produktionsprozess eingreifen und Verlustzeiten werden vermieden. Dies wirkt sich ebenfalls positiv auf die Gesamteffizienz<sup>31</sup> der Anlage aus. Zudem wird der Werker entlastet. Trotzdem ist mit

---

<sup>31</sup> Die Gesamteffizienz wurde an dieser Stelle nicht berechnet, da die Fehler zufällig auftreten und diese somit sehr schwankend ist.

## Vorschläge zur Optimierung der bestehenden Steuerung

---

der vorgeschlagenen Lösung keine vollständige Optimierung der Problematik gegeben, da weiterhin umspritzte Gutteile aussortiert werden. Um Fehlgriffe vollständig umgehen zu können, sind zusätzliche Komponenten in Form von Förder- und Entnahmesysteme nötig.

## 8 Automatisierung der Durchschlagsfestigkeitsprüfung

### 8.1 Analyse der verwendeten Prüfmethode

Nachdem die Fertigteile aus dem Werkstückträger entnommen wurden, erfolgt eine manuelle Durchschlagsfestigkeitsprüfung an einer externen Prüfmaschine. Die Durchschlagsfestigkeit sagt aus, welche hohen Spannungen ein Isolator ertragen kann, ohne dass es zu einen Funken- oder Lichtbogenübergang kommt. Der Wert ist abhängig von der Beschaffenheit des Isolators (Dicke, Gefüge, Oberfläche) und die Durchschlagspannung ist derjenige Wert, der zum Durchschlag des Materials führt. Die Durchschlagsfestigkeit ist demnach eine elektrische Feldstärke, welche zur Zerstörung des Isolators führt. Diese berechnet sich in homogenen Feldern folgendermaßen<sup>32</sup>:

$$E_d = \frac{U_d}{d} \left[ \frac{kV}{mm} \right]$$

$E_d$  - Durchschlagsfestigkeit

$U_d$  - Durchschlagspannung

$d$  - Dicke des Isolators

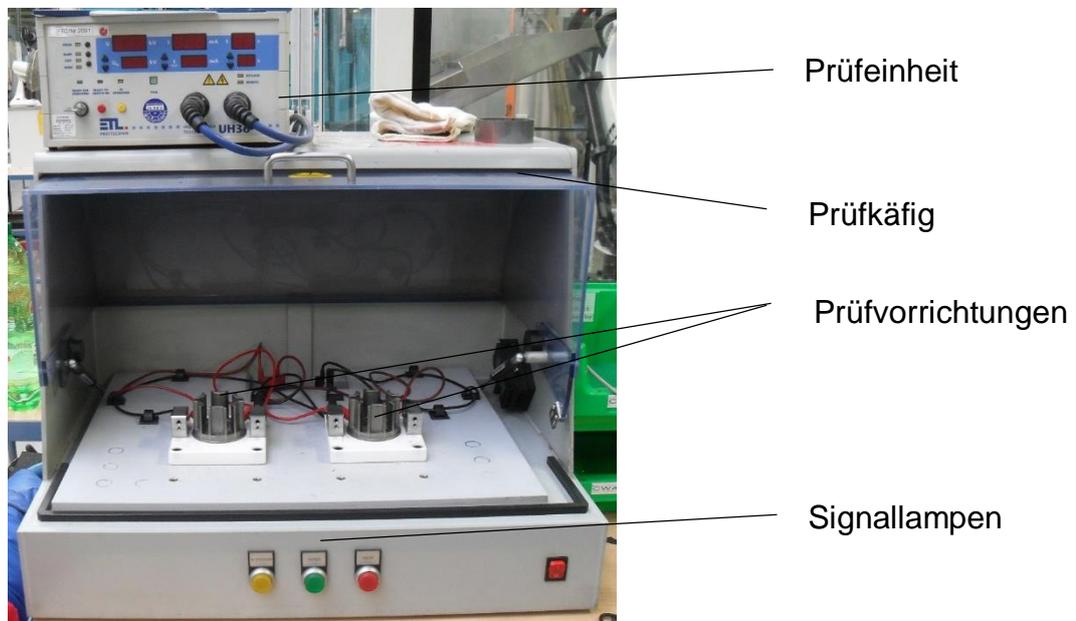
Umgekehrt kann von der Durchschlagsfestigkeit auf die Güte des Isolierwerkstoffes geschlossen werden. Bei Inhomogenitäten im Material, durch z.B. Lufteinschlüsse oder Risse, sinkt die Durchschlagsfestigkeit, da schon kleinere Spannungen zum Durchschlag führen können. Eine Fehlisolation eines Fertigteils bedeutet nicht zwangsläufig eine unzureichende Nutisolation der drei weiteren Fertigteile des gleichen Zyklus. Die umspritzten Polringe werden, wie in Kapitel 4.2 beschrieben, später in elektronisch kommutierte Motoren verbaut und sind demnach hochfrequenten Spannungen ausgesetzt. Ein Materialfehler kann somit zum Stromdurchschlag durch die Nutisolation aus PPS führen und würde somit den Motor

---

<sup>32</sup> vgl. Bargel, Schulze (2008), S. 357

## Automatisierung der Durchschlagsfestigkeitsprüfung

zerstören. Diese Möglichkeit muss ausgeschlossen werden. Aus dem Grund werden die Spritzlinge an einer Hochspannungseinrichtung geprüft. Die Prüfung erfolgt an der Prüfmaschine UH36 Standard im Sicherheitsprüfkäfig DOCAB28-2. Beide Elemente sind vom Hersteller ETL Prüftechnik GmbH. In der **Abb. 18** ist die Prüfeinheit zu sehen.



**Abb. 18** Prüfmaschine Durchschlagsfestigkeit

Die Prüfung erfolgt direkt nach der Entnahme der Teile aus dem Werkstückträger. Um diese zu starten, werden zwei umspritzte Polringe mit der genuteten Fläche voraus auf die Vorrichtung im Prüfkäfig geschoben. Danach wird die Prüfkäfigklappe geschlossen. Daraufhin wird an den beiden Vorrichtungen eine Wechselspannung von 2 kV mit einer Frequenz von 50 Hz angelegt. Nach 2 s wird das Prüfergebn über ein Lichtsignal dargestellt. Leuchtet die grüne Lampe auf, dann sind beide Teile in Ordnung. Leuchtet anderenfalls die rote Lampe auf, dann ist mindestens ein Teil davon unbrauchbar. Mit denjenigen Teilen, welche die Prüfung nicht bestanden haben, muss eine Kreuzprüfung durchgeführt werden, um herauszufinden, welches der beiden Teile defekt ist. Die Möglichkeit, dass beide Teile nicht brauchbar sind, besteht ebenfalls. Für die Kreuzprüfung werden die Spritzlinge einzeln mit einem Referenzteil geprüft, welches in Ordnung ist. Leuchtet daraufhin die Lampe wieder rot, dann kann das

geprüfte Teil aus der Produktion ausgeschlossen werden. Bei grünem Licht ist das Teil brauchbar.

Das Prüfprinzip der eingesetzten Maschine beruht auf Messung des Verschiebestroms  $i(t)$  bei der Beaufschlagung der Wechselfspannung  $U_n$  über den Zeitraum von 2 s. Der Verschiebestrom tritt bei inkonstanten Spannungen an einer Kapazität bzw. am Kondensator<sup>33</sup> auf. Dieser berechnet sich wie folgt:

$$i(t) = C * \frac{du(t)}{dt}$$

$C$  - Kapazität

Wird eine Spannung auf die Vorrichtungen in der Prüfmaschine angelegt, dann entstehen zwei Kondensatoren, bei dem die angespritzte Nutisolation und die Luftspalte das Dielektrikum bilden. Die elektrischen Massen sind in einem gewissen Abstand zum Spritzling angebracht. Die beiden Kondensatoren sind dabei parallel geschaltet. Durch die angelegte Wechselfspannung fließt ein ständiger Strom zwischen den Elektroden, welcher gemessen und zur Beurteilung der Teile benutzt wird.

Die Isolation eines Werkstoffes wird durch die Permittivität  $\epsilon$  ausgedrückt. Diese gibt an, wie durchlässig ein Werkstoff für elektrische Felder ist. Sie berechnet sich aus der Multiplikation der elektrischen Feldkonstante  $\epsilon_0$  und der relativen Permittivitätszahl  $\epsilon_r$ . Umso höher die relative Permittivitätszahl ist, desto besser sind die Isolationseigenschaften eines Materials. Die Permittivitätszahl von Luft ( $\epsilon_{r_{Luft}} = 1$ ) ist viel geringer als die von PPS ( $\epsilon_{r_{PPS}} = 3,8$ ). Hat ein Fertigteile Materialfehler in Form von Rissen oder Lufteinschlüssen, dann ist der Anteil der Luft im Dielektrikum höher. Dadurch sinkt dessen Isolationsvermögen und niedrigere Spannungen führen zu einem Durchschlag. Bei diesem steigt der Strom rapide an und die Spannung fällt

---

<sup>33</sup> Kapazitäten/Kondensatoren bestehen aus zwei durch einen Nichtleiter getrennte Elektroden. Wird an einer Elektrode eine Spannung angelegt, dann entsteht zwischen den Elektroden ein elektrisches Feld.

## Automatisierung der Durchschlagsfestigkeitsprüfung

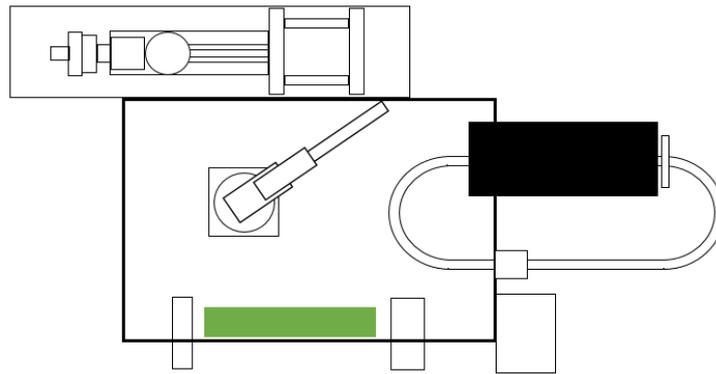
zugleich ab. Der Stromzuwachs wird gemessen und wird mit einem Grenzwert verglichen

Bei der manuellen Prüfung wird bei zwei Gutteilen im Mittel ein Strom von ca. 0,4 mA gemessen. Kommt es zu einem Durchschlag und den damit verbundenen Stromanstieg, dann lässt die Prüfeinheit ab einem Wert von  $\geq 30$  mA die rote Lampe erleuchten. Dadurch, dass die Messung der Spritzlinge parallel erfolgt, kann daraus nicht geschlossen werden, welches Teil defekt ist. Der Arbeiter muss alle Fertigteile manuell in die externe Prüfmaschine einlegen. Pro Stunde muss dieser die Prüfung im Mittel 115 Mal durchführen und zuzüglich Kreuzprüfungen anstellen. In den weiteren Ausführungen werden zwei Konzepte dargestellt, sodass die Prüfung automatisch durchgeführt werden kann.

## **8.2 Varianten der automatischen Durchschlagsfestigkeitsprüfung**

### **8.2.1 Integration einer Prüfmaschine in die Roboterzelle**

Die erste Möglichkeit die Prüfung in den Produktionsprozess einzubinden, bietet die Integration einer Prüfmaschine in die Roboterzelle. Die Prüfmaschine muss dementsprechend in der Zelle positioniert werden, damit der Roboter zu dieser Zugriff hat und bei deren Anfahrt mit keiner anderen Komponente kollidiert. Da die Fertigteile genau positioniert werden müssen, werden singuläre Punkte und die daraus möglichen, unkontrollierten Bewegungen vermieden. Deswegen soll sich die Maschine im mittleren Bewegungsraum des Roboters befinden. In der **Abb. 19** ist eine Skizze der Fertigungszelle mit einem möglichen Aufstellungsbereich (grün) dargestellt.



**Abb. 19** Aufstellungsbereich der Prüfmaschine

Die Aufstellung in diesem Bereich ist ein kurzer Fahrweg des Roboters zur Prüfmaschine gegeben und somit wird Zeit bei der Anfahrt der Ablagepunkte gespart. Weiterhin muss die Prüfmaschine am Boden oder der Einhausung befestigt werden, sodass die Ablagepunkte in jedem Zyklus identisch sind und eine genaue Ablage gewährt wird.

Entgegen der bisher eingesetzten Prüfmaschine hat die integrierte Maschine vier Prüfvorrichtungen. Diese sind quadratisch angeordnet und auf einen Prüftisch befestigt. Auf den zusätzlichen Eingriffschutz kann verzichtet werden, da aufgrund der Einhausung der Roboterzelle die Arbeiter nicht mit dem Prüftisch in Kontakt kommen können. Der Prüftisch muss speziell angefertigt werden und unterliegt der DIN EN 50191. Auf diesem können alle entnommenen Fertigteile gleichzeitig abgelegt und geprüft werden.

Da der Griff und der Hub eines Entnahmegreifers nur paarweise erfolgt, können Teile nur zu zweit oder zu viert aussortiert werden (siehe Kapitel 3.1). Es besteht die Möglichkeit, dass sich in einem Greiferpaar ein Gut- und ein Schlechteil befinden können. Wenn das Schlechteil ausrangiert wird, wird das „Partnerteil“ aufgrund der pneumatischen Beschaltung des Greiferpaares mit abgelegt. Aus dem Grund ist es ausreichend, dass die Prüfung der Teile paarweise, wie an der externen Maschine, erfolgt. Dazu werden zwei Prüfvorrichtungen parallel geschaltet. Das betrifft diejenigen Prüfvorrichtungen, welche die zwei Teile eines Greiferpaares aufnehmen. Daraus ergeben sich zwei Parallelschaltungen, für jene zwei unabhängige Messungen

## Automatisierung der Durchschlagsfestigkeitsprüfung

nötig sind. Dafür werden zwei Prüfgeräte eingesetzt, welche mit den entsprechenden Prüfvorrichtungen verdrahtet werden müssen. Als Prüfgeräte können, wie beim bisherigen Prüfstand, die Prüfmaschinen UH36 Standard vom Hersteller ETL Prüftechnik GmbH zum Einsatz kommen. Diese besitzen Ein- und Ausgänge, die eine Anbindung der Geräte an die Robotersteuerung erlaubt. Wenn die Prüfmaschinen im Automatikmodus sind, können die Messungen über das Setzen eines Eingangs gestartet werden. Nach Ablauf der Prüfzeit wird die Messung innerhalb der Prüfmaschine ausgewertet und der entsprechende Ausgang für Gut- oder Schlechtteil gesetzt. Ebenso ist ein Eingang für das Not-Aus vorhanden. Die Prüfparameter sind im Voraus manuell einzustellen. Durch die Anbindung der Prüfmaschinen kann der Roboter die Prüfung starten sowie stoppen und bekommt das Ergebnis vermittelt. Somit kann diese automatisiert und in den Bearbeitungszyklus integriert werden.

Die Prüfung der Fertigteile erfolgt nach dem Abtrennen der Angüsse. Der Greifer des Roboters bewegt sich zum Prüfstand und legt die Fertigteile über die Hubbewegungen der Schlitten in die Prüfvorrichtungen gemeinsam ab. Nachdem sich die Greifer zurück gestellt haben, fährt der Roboter in eine sichere Position, in der er nicht in das Magnetfeld der Prüfung gelangt. Anschließend werden die Teile geprüft. Wenn diese abgeschlossen ist, werden die Teile wieder aufgenommen. Ist ein Schlechtteil in einem Greifer vorhanden, fährt der Roboter zur Ablagestelle der Schlechteile. Anschließend wird dieses und das „Partnerteil“ aussortiert. Im Kapitel 7.3 wird die Ablagestelle der Schlechteile näher erläutert. Die Gutteile werden auf einen Werkstückträger, welcher bereits am fünften Stopper wartet, abgelegt. Die Bearbeitung wird fortgesetzt mit der Aufnahme von Rohteilen aus dem Werkstückträger.

Die Einbettung des Prüfvorganges in das Ablaufprogramm bereitet nur wenig Aufwand. Es sind Verknüpfungen mit den Ein- und Ausgängen der Prüfeinheiten zu erstellen und die neuen Ablage- und Aufnahmepositionen müssen geteacht werden. Somit bedarf es keiner prinzipiellen Änderung des Fertigungsablaufes. Weiterhin muss die Roboterzelle mit Warnschilder versehen werden, da in dieser Hochspannungsprüfungen durchgeführt werden und somit Lebensgefahr besteht. Außerdem müssen die Prüfeinheiten durch ein Not-Aus-Schalter abschaltbar sein.

Diese Lösung gestaltet sich aufgrund der wenigen Änderungen als kostengünstig. Durch die integrierte Prüfmaschine werden komplizierte Umbauten im Greifer umgangen. Der Greifer kann dadurch unverändert eingesetzt werden. Weiterhin werden die Wartezeiten des Roboters anderweitig genutzt. Der Roboter kann während dieser Zeit den Prüfvorgang durchführen und ein flüssiger Bewegungsablauf ohne einen Stopp ist möglich. Zudem wird der Werker weiterhin entlastet. Dieser hat nur dafür zu sorgen, dass vor jedem Bearbeitungsbeginn die richtigen Prüfparameter in den Prüfeinheiten eingestellt werden.

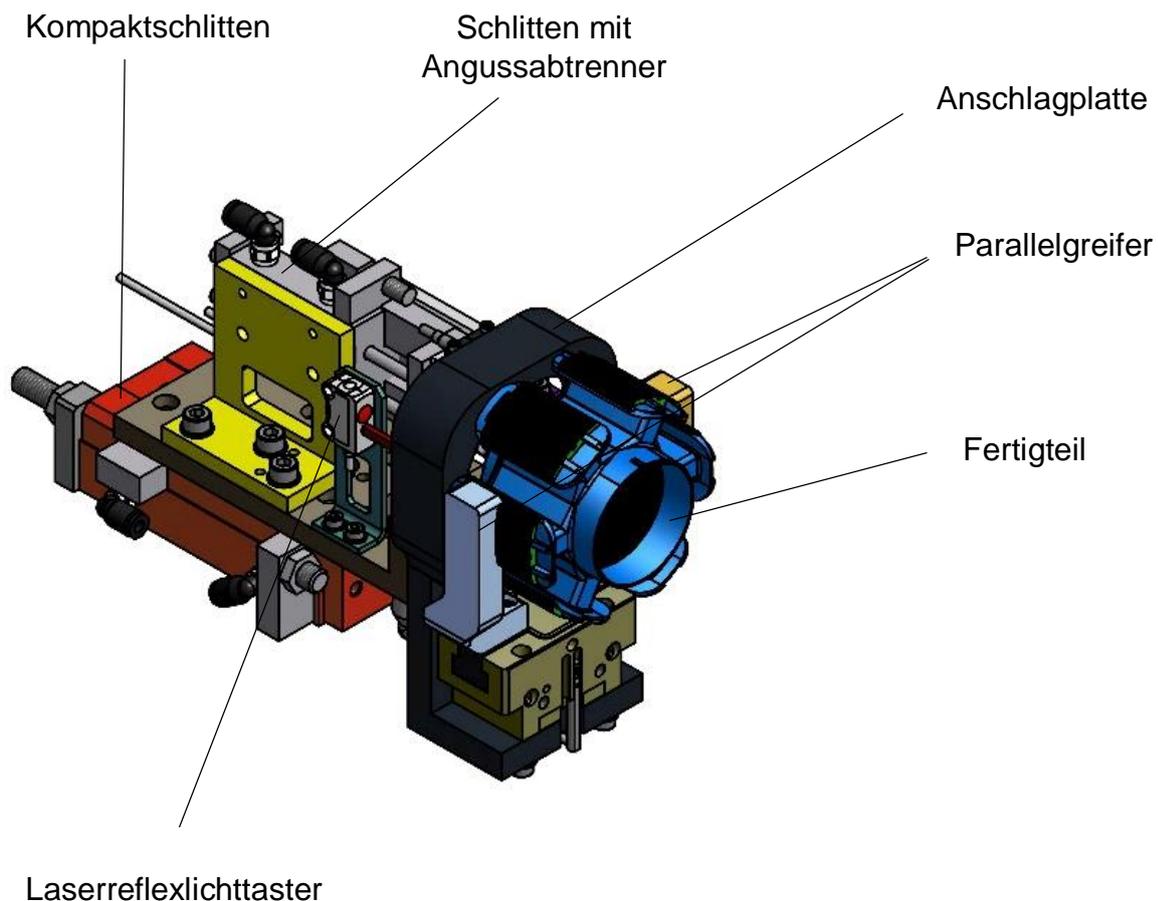
### **8.2.2 Prüfung der Durchschlagsfestigkeit im Greifer**

Beim zweiten Konzept erfolgt die Prüfung der Durchschlagsfestigkeit im Greifer. Dieses zeichnet sich dadurch aus, dass die Wartezeiten des Roboters minimiert werden und der Arbeiter entlastet wird. Dazu sind Umbauten am Roboter, am Greifer und an der Einhausung notwendig. Zudem müssen zusätzliche Prüfeinheiten gekauft werden. Die weiteren Ausführungen dieses Kapitels enthalten Untersuchungen und Abänderungen der eingesetzten Komponenten, damit die Fertigteile im Greifer auf Durchschlagsfestigkeit geprüft werden können.

Die bisher eingesetzten Entnahmegreifer sind folgendermaßen aufgebaut: Sie befinden sich auf einen Kompaktschlitten, der pneumatisch angesteuert werden kann. Dadurch ist ein Hub entlang der Längsachse möglich, durch welchen die Fertigteile aus der Spritzgießmaschine entnommen und exakt auf den Werkstückträger positioniert werden können. Der Schlitten besitzt Begrenzungen für den Einfahr- und Ausfahrhub und Näherungsschalter, sodass die Endlagen angefahren werden können. Auf dem Schlitten befindet sich ein Mitnehmer. Auf diesem sind der Parallelgreifer mit Anschlagplatte, der Angussabtrenner und ein Laserreflexlichttaster angebracht. Der Pneumatikgreifer JPG 50 ist vom Hersteller SCHUNK GmbH & Co. KG Spann- und Greiftechnik. Dieser ist an der Anschlagplatte montiert. Er ist ohne Greifkraftherhaltung ausgeführt und enthält einen Magnetschalter zu Lageerkennung der Backen.

## Automatisierung der Durchschlagsfestigkeitsprüfung

Der Angussabtrenner befindet sich ebenso auf einem Kompaktschlitten, welcher durch ein Winkelblech senkrecht auf dem Mitnehmer angebracht ist. Wenn sich ein Fertigteil inklusive Anguss im Greifer befindet, dann kann der Abtrenner zum Teil hin verschoben werden. Durch den angebrachten Parallelgreifer wird der Anguss abgetrennt. Dazu schließt sich der Parallelgreifer in ausgefahrener Stellung des Schlittens und greift somit eine Rippe des Angusses. Daraufhin fährt der Kompaktschlitten wieder vom Fertigteil weg. Dadurch, dass der Anguss noch gegriffen wird, wird dieser durch das Zurückstellen des Schlittens vom Teil abgerissen. Während der Schlitten in Ausgangslage fährt, öffnet sich der Greifer und der Anguss fällt durch das Kernloch des Fertigteils heraus. Der Abtrennvorgang erfolgt über der niO-Rutsche. Der Laserreflexlichttaster ist zur Kontrolle angebracht, ob der Spritzling richtig gegriffen wurde. In der **Abb. 20** ist ein Entnahmegreifer nochmals dargestellt.

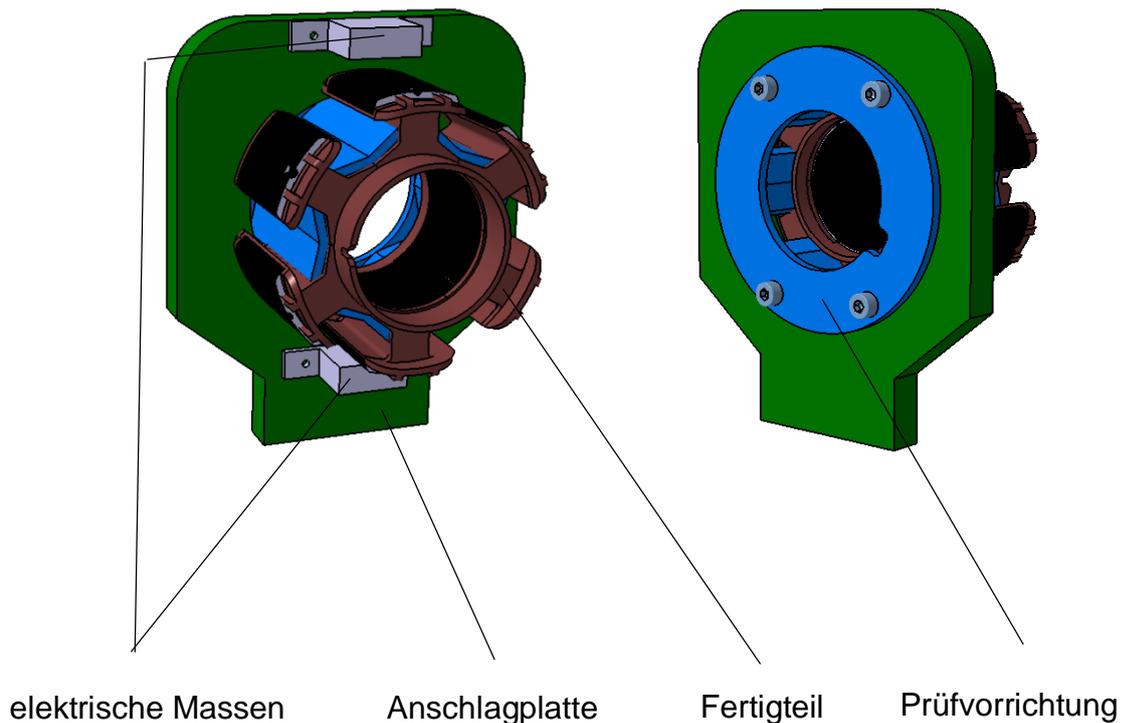


**Abb. 20** Entnahmegreifer

## Automatisierung der Durchschlagsfestigkeitsprüfung

Damit der Roboter die Prüfung erledigen kann, müssen die Entnahmegreifer zuerst konstruktiv angepasst werden. Um die Fertigteile prüfen zu können, muss eine Vorrichtung angebracht werden. Die Vorrichtung entspricht der Form der Prüfvorrichtungen in der externen Prüfmaschine und besteht aus Metall. Im Genaueren ist das ein Ring mit zwei elektrischen Anschlüssen, auf dem Eckprofile in der Form der Nuten der Spitzlinge zur Mitte hin angebracht sind. Die Eckprofile müssen diejenige Höhe besitzen, damit das Fertigteil vollkommen eingelegt werden kann. Weiterhin wird eine Aussparung mit der Breite einer Wickelkammer eines Polzahnes im Ring eingebracht, damit der bisher verwendete Laserreflexlichtaster weiterhin benutzt werden kann.

Die Anschlagplatte wird ausgetauscht und wird konstruktiv angepasst. Die Bohrung inmitten der Platte muss vergrößert werden, damit die Eckprofile hindurch passen. Die Prüfvorrichtung wird auf der Seite des Angussabtrenners angebracht, damit die Position des Fertigteils im Greifer unverändert bleibt und eine Verschiebung der geteachten Punkte vermieden wird. Die Vorrichtung wird mittels vier Senkschrauben mit Innensechskant an der Platte befestigt. Zusätzlich müssen zwei elektrische Massen und deren Kabel auf der Platte befestigt werden, sodass der Stromkreis des Kondensators geschlossen werden kann. Dazu müssen die Außenmaße der Platte entsprechend angepasst werden, damit genügend Platz vorhanden ist. Die elektrischen Massen werden wie in der externen Prüfmaschine positioniert. Im Gegensatz zur externen Prüfung wird das Fertigteil mit der ungenutzten Seite voraus in die Vorrichtung eingelegt, wodurch die Prüfung trotzdem durchgeführt werden kann. Eine mögliche Umsetzung der eben beschriebenen Maßnahmen ist in der **Abb. 21** zu sehen.

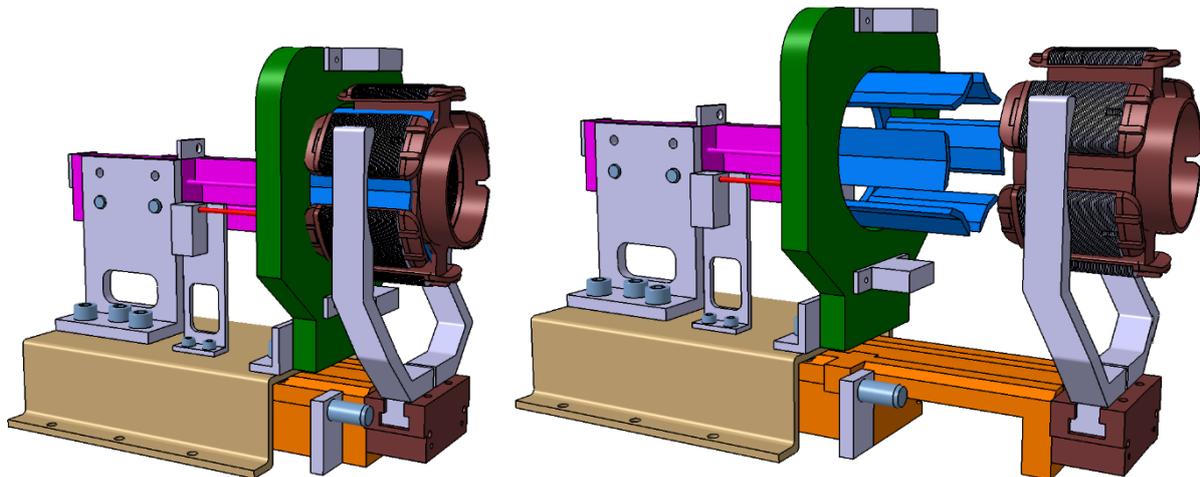


**Abb. 21** Integration der Prüfvorrichtung

Durch die verbaute Prüfvorrichtung entsteht das Problem, dass die Fertigteile aufgrund der Formnester im Werkzeug nicht entnommen werden können. Die Prüfvorrichtungen würden bei der Entnahme an die Formnester stoßen. Dabei sind Deformationen möglich. Deswegen soll der Greifer weiter angepasst werden. Eine mögliche Lösung besteht darin, dass der Hub des Parallelgreifers durchgeführt wird, ohne dass sich die Prüfvorrichtung bewegt. Dazu muss die Vorrichtung vom Mitnehmer des Schlittens entfernt und anderweitig auf dem Gesamtgreifer angebracht werden. Dazu wird ein Blech mit U-Profil verwendet, auf dem die Prüfvorrichtung, der Angussabtrenner und der Laserreflexlichttaster mit Winkelblechen befestigt werden. Dieses wird auf dem Gesamtgreifer mit Schrauben an dessen Zusatzkanten angebracht. Unter dem Blech befindet sich der Kompaktschlitten. An dessen Stirnseite ist der Parallelgreifer befestigt. Dieser kann den Hub allein durchführen und die Entnahme der Teile aus dem Werkzeug ist gegeben. Die pneumatischen Anschlüsse bleiben unverändert. Nachdem die Teile im Werkzeug gegriffen werden, begibt sich der Parallelgreifer wieder in seine Anfangslage und schiebt somit den Spritzling auf die Prüfvorrichtung. Die Prüfung der Durchschlagsfestigkeit kann darauf erfolgen.

## Automatisierung der Durchschlagsfestigkeitsprüfung

In der **Abb. 22** sind der veränderte Entnahmegreifer (ohne pneumatische Anschlüsse) und der Hub des Parallelgreifers mit Fertigteil abgebildet.



**Abb. 22** Konzept des Prüfgreifers

Damit die Fertigteile aus dem Werkzeug entnommen und auf den Werkstückträger gelegt werden können, dürfen die Greiferabstände und Entnahmehöhen nicht verändert werden. Es entstehen ansonsten falsche Entnahme- und Ablagepositionen, durch welche andere Komponenten beschädigt werden können. Eine konstruktive Anpassung oder Reparatur des Werkzeugs oder der Werkstückträger ist mit hohem Kosten- und Zeitaufwand verbunden. Diese können durch eine genaue Auslegung der Entnahmegreifer umgangen werden.

Nachdem die mechanische Seite erarbeitet wurde, müssen die elektrischen Einflüsse im Greifer überprüft werden. Wird eine Spannung an die Prüfvorrichtung gelegt, werden der Entnahmegreifer und der komplette Gesamtgreifer von dieser durchsetzt, da alle Komponenten aus Metall gefertigt sind. Um dem entgegenzuwirken, müssen anliegende Komponenten gegenüber der Spannung isoliert werden. Dies betrifft die Backen des Entnahmegreifers und die Anschlagplatte. Dafür müssen diese aus Isolationsmaterial gefertigt werden. Dafür kommen Keramiken und Kunststoffe infrage. Die Fertigung einer Anschlagplatte aus Isolationswerkstoffen bedarf keinen großen

## Automatisierung der Durchschlagsfestigkeitsprüfung

Mehraufwand. Jedoch muss für eine Änderung der Greifer der Hersteller SCHUNK kontaktiert und mit einbezogen werden. Weiterhin muss bei der Werkstoffauswahl beachtet werden, dass es ebenso im Entnahmegreifer zu Spannungsdurchschlägen durch die umgebene Luft und dem Isoliermaterial kommen kann. Aufgrund des inhomogenen Feldes sind Simulationen mit einem geeigneten Programm nötig, um Fehlkonstruktionen zu umgehen und Verletzungen vorzubeugen. Für den Werker birgt die Wechselspannung von 2 kV keine Gefahr, da dieser durch die Einhausung der Roboterzelle ausreichend geschützt ist und nicht mit dem Greifer in Berührung kommen kann.

Neben dem elektrischen Feld baut sich weiterhin ein Magnetfeld auf. Da bei der Prüfung im Greifer keine Prüfkäfige vorhanden sind, kann sich das Magnetfeld ungehindert ausbreiten und beeinflusst die Funktion der umliegenden Sensorik. Magnetschalter sind Sensoren, die auf Annäherung eines Magneten reagieren. Diese befinden sich an jedem Entnahmegreifer und werden zur Ermittlung der Backenstellung der Greifer benutzt. Der Sensor reagiert dabei auf einen Dauermagneten im Greifer, der je nach Backenstellung zum Sensor hin oder von ihm fort bewegt wird. Dabei sind nur die Lagen „Offen“ und „Geschlossen“ möglich. Die eingesetzten Magnetschalter arbeiten nach dem Schließerprinzip. Bei Annäherung eines Magneten schalten diese den Ausgang durch. Durch dem zusätzlichen Magnetfeld wird bei den Magnetschaltern, unabhängig von der Backenstellung, immer ein Ausgang gesetzt. Somit sind die Greiferpositionen nicht für die Steuerung erkennbar und eine weitere Bearbeitung kann nicht erfolgen. Weiterhin werden die induktiven Sensoren negativ beeinflusst, welche zur Positionsbestimmung der Kompaktschlitten verwendet werden. Diese senden ein hochfrequentes Magnetfeld aus und erkennen, wenn elektrisch leitfähige Materialien in dieses eindringen. Aufgrund des zusätzlichen Magnetfelds kommt es zur Überlagerung der Magnetfelder. Dadurch wird die Messung des Sensors verfälscht. Da sich an jedem Entnahmegreifer vier dieser Sensoren befinden (zwei am Schlitten für Angussabtrenner und zwei am Greiferschlitten), ist eine zuverlässige Steuerung des Greifers nicht mehr möglich. Da die bisher eingesetzte Sensorik nicht mehr benutzt werden kann, bedarf es anderer Messmethoden. Dies bedeutet, dass der Greifer von Grund auf geändert werden muss, um diese zu verbauen. Somit ist der jetzige Greifer für eine Durchschlagsfestigkeitsprüfung nicht geeignet.

Die Durchführung der Durchschlagsfestigkeitsprüfung im bisher eingesetzten Greifer ist aufgrund der auftretenden elektrischen und magnetischen Felder unmöglich. Der Greifer wird durch die Einbindung des Prüfers zweckentfremdet, da dieser nur für Einlege- und Entnahmeprozesse konstruiert wurde. Die Anpassung der Greiferkomponenten und der Sensorik gleicht einer Neukonstruktion, welche nur unter hohem Kosteneinsatz und großem Änderungsaufwand möglich ist. Dementsprechend ist eine Entwicklung eines speziell dafür ausgelegten Greifers vorzuziehen. Die Anschaffungskosten eines neuen Greifers sind jedoch ebenso nicht gering. Folglich stellt der Einsatz einer integrierten Prüfmaschine in der Roboterzelle die geeignetere Lösung für die Stanz- und Laser-Technik dar. Im nächsten Kapitel werden zwei Entwürfe dargelegt, wie die aussortierten Fertigteile aus der Zelle hinaus transportiert werden können.

### **8.3 Ablagestellen der aussortierten Teile**

Um Gut- und Schlechteile getrennt abladen zu können, muss eine weitere Ablagestelle für Schlechteile geschaffen werden. Dazu kann eine zusätzliche Rutsche in die Einhausung der Anlage angebracht werden, welche die aussortierten Teile aus der Zelle herausbefördert. Diese wird zwischen den beiden bisherigen Rutschen angebracht, da dort genügend Platz ist und die Wege zur Angussabtrennstelle und dem Umlaufband minimal sind. Beim Einsatz einer integrierten Prüfmaschine muss diese derart positioniert werden, sodass eine zuverlässige Ablage in die Prüfmaschine und auf der Rutsche möglich sind.

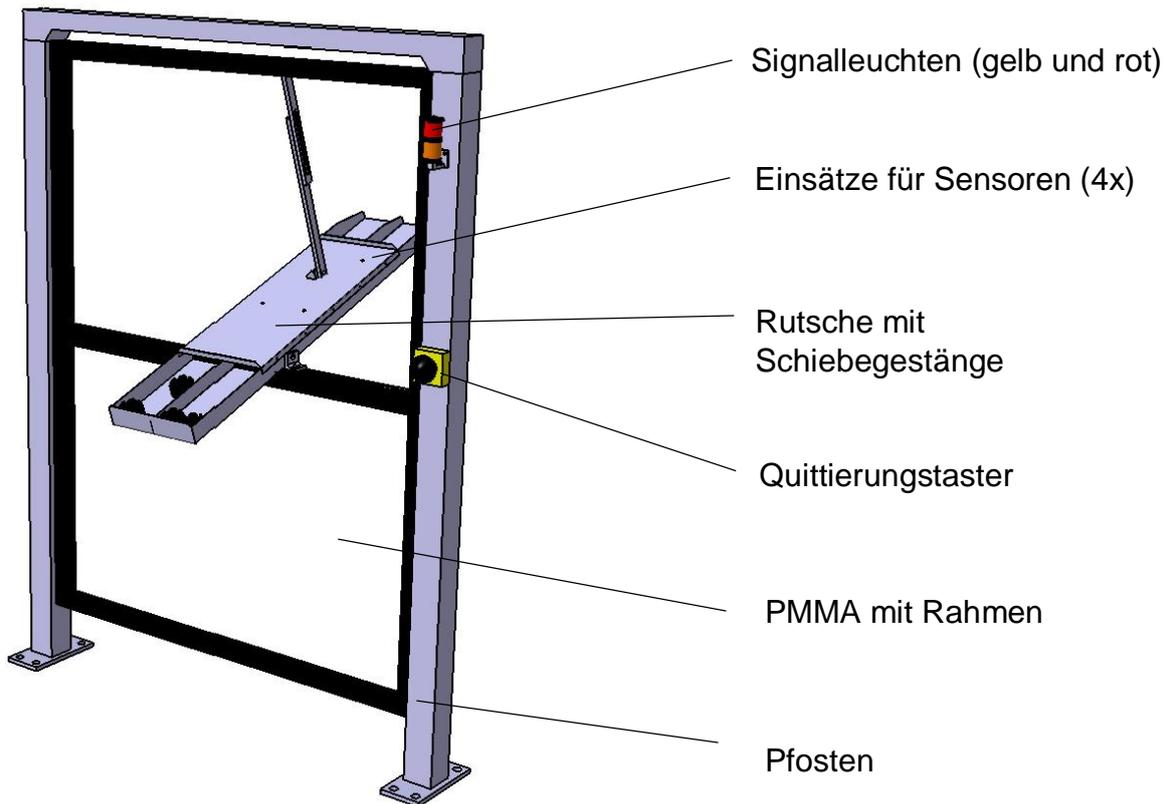
Die Form des Rutschförderers entspricht dem der QS-Rutsche, da die Teile am Ende gestoppt und gesammelt werden. Die Breite beträgt dabei nur 330 mm. Befestigt wird die Rutsche, wie die beiden anderen an zwei Profilschienen, welche senkrecht an den Pfosten in verschiedener Höhe angebracht werden. Da sich mehrere Teile auf der Rutsche befinden, muss geprüft werden, ob durch das „Schwerkraftrutschen“ und dem Aufprall beim Stoppen keine Teile beschädigt werden. Dazu kann der Steigungswinkel der Rutsche verkleinert werden, jedoch muss er groß genug sein, damit die

## Automatisierung der Durchschlagsfestigkeitsprüfung

---

Hangabtriebskraft größer als die Reibkraft ist und ein selbstständiges Abrutschen durch das Eigengewicht ermöglicht wird.

Wenn die Teile nicht entnommen werden, stauen diese sich auf dem Förderer weiter an und es kann zur Blockierung der Rutsche kommen. Es können sich dabei bis zu 76 Fertigteile in Viererreihe stapeln bis es zum Überlauf kommt. Daraufhin kann die Ablage der Teile nicht mehr richtig erfolgen. Um dieses Problem zu umgehen, werden in jeder Abrutschbahn jeweils zwei induktive Sensoren angebracht. Weiterhin wird dem Werker der „Füllzustand“ der Rutsche durch zwei zusätzliche Signallampen (Farben: gelb und rot) angezeigt. Die ersten beiden Sensoren erkennen, wenn der Rücklauf der Teile fortgeschritten ist. Dazu werden diese in der jeweiligen Abrutschbahn in entsprechender Höhe an der Abdeckung der Rutsche angebracht. Läuft nun ein Stau bis zu dem Sensor, dann leuchtet die gelbe Lampe auf. Die Anlage läuft dabei normal weiter. Falls die Teile sich weiter aufstauen und der Überlauf der Rutsche bevorsteht, erkennen dies die übrigen zwei Sensoren für jede Abrutschbahn. Diese werden am Anfang der Rutschbahn aber unterhalb der Ablagestelle befestigt. Wenn diese Sensoren ein anhaltendes Signal aufnehmen, dann leuchtet die rote Lampe auf und die komplette Anlage wird gestoppt. Der Werker muss daraufhin alle aussortierten Teile entnehmen. Durch einen angebrachten Quittierungstaster, kann nun der Anlage mitgeteilt werden, dass die Rutsche wieder frei ist und die Bearbeitung fortgesetzt werden kann. In der **Abb. 23** ist eine Zeichnung des betroffenen Segments der Einhausung mit den dazugehörigen Komponenten dargestellt. Die Profilschienen zur Befestigung der Rutsche sind durch den Rahmen der Scheibe verdeckt.



**Abb. 23** Rutsche Durchschlagfestigkeitsprüfung

Die Erweiterung der Einhausung um eine weitere Rutsche ermöglicht dem Roboter das Aussortieren von Teilen nach der Durchschlagfestigkeitsprüfung. Die vorgeschlagene Lösung orientiert sich an der QS-Rutsche und bedarf sich somit kurzer Planungs- und Umsetzungszeit. Es muss lediglich die Breite der Rutsche angepasst und die Messstellen den Sensoren entsprechend gestaltet werden. Durch die ausgewählte Anbringung wird der vorhandene Platz weiter ausgenutzt. Für diese Lösung entsteht ein Kostenaufwand, welcher jedoch recht niedrig ist. Die aussortierten Teile müssen anschließend einer Kreuzprüfung unterzogen werden.

Ebenso besteht die Möglichkeit, dass Schlechteile sofort auf der niO-Rutsche abgelegt werden. Die Auftretenswahrscheinlichkeit einer Fehlisolierung der Fertigteile

## Automatisierung der Durchschlagsfestigkeitsprüfung

beträgt nur  $\approx 0,061\%$ <sup>34</sup>. Somit werden an einem Tag im Durchschnitt nur 3 Teile aussortiert. Bei einem Schlechtteil wird das „Partnerteil“ ebenso ausrangiert, wodurch sich die Ausschussrate aufgrund dieses Fehlers auf  $\approx 0,12\%$  verdoppelt. Da diese aber weiterhin sehr gering ist, kann diese Möglichkeit in Betracht gezogen werden. Dadurch werden Kosten für Planung und Fertigung gespart und es kommt zu keinen Stillstand der Anlage durch Montagearbeiten. Eine Kreuzprüfung entfällt bei dieser Lösung.

Unabhängig vom Ablagekonzept sinkt die Anzahl der manuell zu prüfenden Teile im Normalfall rapide und der Werker wird somit stark entlastet. Weiterhin wird das Roboterpotenzial weiter ausgeschöpft, da dieser nunmehr den Werker von einer Aufgabe entbindet. Neben der Durchschlagsfestigkeitsprüfung werden die Kernloch- und Sichtprüfungen weiterhin manuell ausgeführt. Die Anlage kann dementsprechend erweitert werden, sodass diese die übrigen Prüfungen ebenfalls übernimmt. Nähere Ausführungen zur Automatisierung der Sicht- und Kernlochprüfung sind in der Arbeit nicht enthalten. Diese bieten jedoch Ansätze für weitere wissenschaftliche Arbeiten.

---

<sup>34</sup> Die Berechnungen des Wertes erfolgte auf Basis von Zählungen an einem Produktionstag (09.12.2014).

## 9 Zusammenfassung und Ausblick

Diese wissenschaftliche Arbeit beinhaltet Vorschläge zur Optimierung des Robotereinsatzes in der Spritzgießfertigung. Die Roboterzelle befindet sich in der Stanz- und LaserTechnik Jessen und wurde zusammen mit KraussMaffei konzipiert. Der Roboter wird benutzt, um Rohteile in eine Spritzgießmaschine einzulegen und die Fertigteile wieder aus dieser zu entnehmen. Das Produkt aus dieser Fertigung ist ein wickelfähiger Stator, welcher in elektrische Kühlmittelpumpen verbaut wird. Die Überprüfung der Anlage erfolgte nach Abnahme durch den Hersteller. Dabei wurden Schwachstellen identifiziert und diese nach Möglichkeit beseitigt.

Die Ausführungen in der Arbeit enthalten einerseits Änderungen und Erweiterungen des Programmtextes. Durch diese Maßnahmen wird der Prozess weiter automatisiert, Fehler beim Rohteiltransport behoben und der Ausschuss minimiert. Weiterhin werden die eingesetzten Werkstückträger erweitert, sodass eine falsche Einlage von Teilen nicht mehr möglich ist. Dadurch werden weitere Unterbrechungen der Fertigung unterbunden. Da die Prüfung der Durchschlagsfestigkeit der Fertigteile bisher manuell erfolgt, werden zuletzt Vorschläge zur Einbindung des Prüfprozesses in die Roboterzelle gemacht. Dabei werden zwei Varianten auf ihre Durchführbarkeit untersucht. Zudem werden weitere Komponenten, welche für dieses Vorhaben nötig sind, angeführt. Neben den hier enthaltenen Vorschlägen zur Optimierung der Roboterzelle bietet diese weitere Ansätze für wissenschaftliche Arbeiten. Diese beziehen sich auf die Einbindung zusätzlicher automatischer Prüfsysteme, dem automatischen Einlegen /Entnehmen und der möglichen Nachbearbeitung der Fertigteile. Dadurch ist es möglich, dass der Herstellungsprozess der Statoren voll automatisiert werden kann, damit dieser ohne menschlicher Hilfe durchgeführt werden kann.

# Literaturverzeichnis

**Bargel, Hans-Jürgen; Schulze, Günter (2008):** Werkstoffkunde. 10.Auflage,

Berlin Heidelberg: Springer-Verlag

**Böge, Alfred (2011):** Handbuch Maschinenbau. Grundlagen und Anwendungen der

Maschinenbau-Technik. 20. Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag

**Bührig-Polaczek, Andreas; Michaeli, Walter; Spur, Günter (2013):**

Handbuch Urformen. Edition Handbuch der Fertigungstechnik. 2. Auflage,

München: Carl Hanser Verlag

**Johannaber, Friedrich; Michaeli, Walter (2004):** Handbuch Spritzgießen.

2. Auflage, München: Carl Hanser Verlag

**Keim, Wilhelm (2006):** Kunststoffe. Synthese, Herstellungsverfahren, Apparaturen.

1. Auflage, Weinheim: WILEY-VCH Verlag

**Meyer, Dieter (1995):** Kunststoff-Verarbeitung automatisieren. Ein Handbuch für den

Praktiker. 1. Auflage, München; Wien: Carl Hanser Verlag

**Steinko, Willi (2008):** Optimierung von Spritzgießprozessen. 1. Auflage, München:

Carl Hanser Verlag

**Wellenreuther, Günter; Zastrow, Dieter (2008):** Automatisieren mit SPS – Theorie

und Praxis. 4. Auflage, Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag

## Verzeichnis der verwendeten Internetquellen

<http://www.kraussmaffei.com/de/systemloesungen/d/uid-4d98aaf5-8c04-8772-e04d-89fd588a7c1d.html>

Zugriff am 28. April 2014

[http://www.kspg.com/fileadmin/media/Broschueren/Produktbroschueren/Pierburg\\_Pump\\_Technology/Wasserumwaelz-\\_und\\_Kuehlmittelpumpen/ppt\\_elek\\_kuehlmittelp\\_d.pdf](http://www.kspg.com/fileadmin/media/Broschueren/Produktbroschueren/Pierburg_Pump_Technology/Wasserumwaelz-_und_Kuehlmittelpumpen/ppt_elek_kuehlmittelp_d.pdf)

Zugriff am 20. Mai 2014

[http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4\\_PB0003\\_KR\\_30\\_60\\_de.pdf](http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4_PB0003_KR_30_60_de.pdf)

Zugriff am 04. Juni 2014

<http://www.zeit.de/wissen/umwelt/2009-12/erde-sd-kunststoffmuell>

**Strobel, Ralf (2009):** Nach uns die Plastikflut. Die Zeit

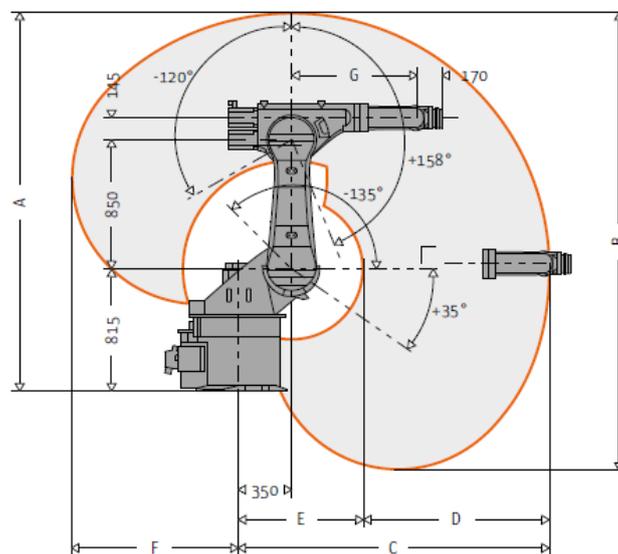
Zugriff am 17. April 2014

# Anlagenverzeichnis

<b>Anlage 1</b>	Datenblatt des Industrieroboters
<b>Anlage 2</b>	Fotos der Werkstückträger
<b>Anlage 3</b>	Ofen mit integriertem Umlaufband
<b>Anlage 4</b>	Foto der Höhenprüfstelle
<b>Anlage 5</b>	Technischen Maße des Stanzpakets
<b>Anlage 6</b>	Umspritztes Stanzpaket
<b>Anlage 7</b>	Foto der Roboterzelle
<b>Anlage 8</b>	Nahaufnahme des Gesamtgreifers
<b>Anlage 9</b>	Spritzgießmaschine

## Anlage 1 Datenblatt des Industrieroboters<sup>35</sup>

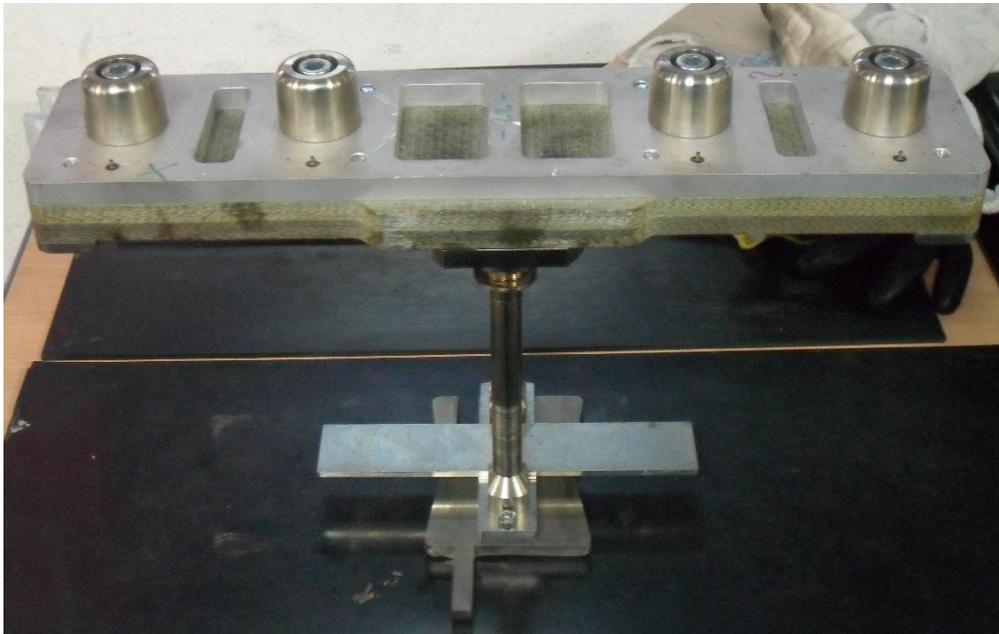
Nenntraglast	30 kg
Nennzusatzlast am Arm	35 kg
max. Gesamtlast	65 kg
Wiederholgenauigkeit	+/- 0,06 mm
Anzahl der Achsen	6
Aufstellfläche	850 x 950 mm
Gewicht (ohne Steuerung)	679 kg



Maß A	2 948 mm
Maß B	3 795 mm
Maß C	2 429 mm
Maß D	1 446 mm
Maß E	983 mm
Maß F	1 480 mm
Maß G	1 220 mm
Volumen	47,8 m <sup>3</sup>

<sup>35</sup> [http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4\\_PB0003\\_KR\\_30\\_60\\_de.pdf](http://www.kuka-robotics.com/res/sps/f776ebab-f613-4818-9feb-527612db8dc4_PB0003_KR_30_60_de.pdf)

## Anlage 2 Fotos der Werkstückträger

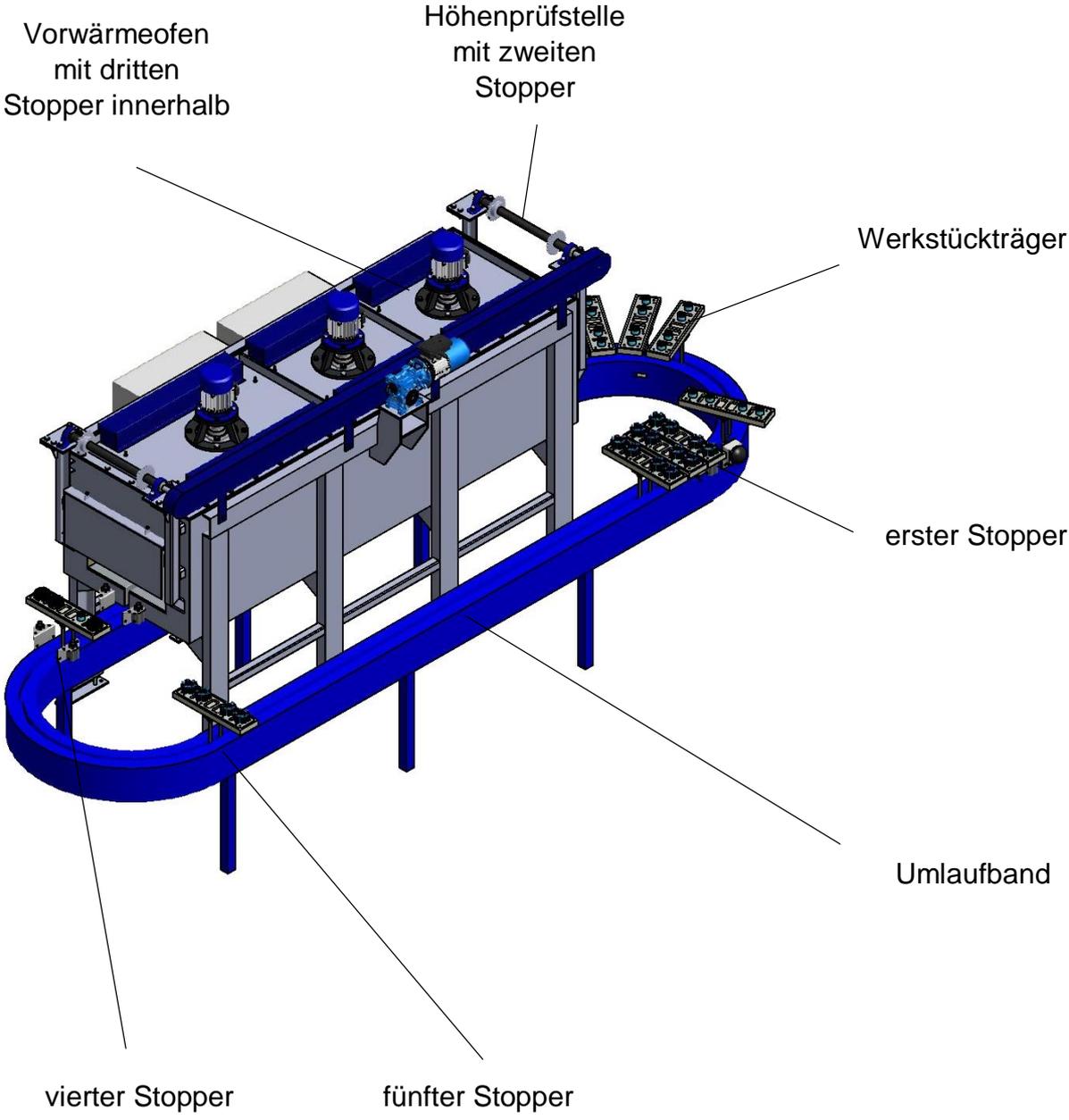


Einzelner Werkstückträger

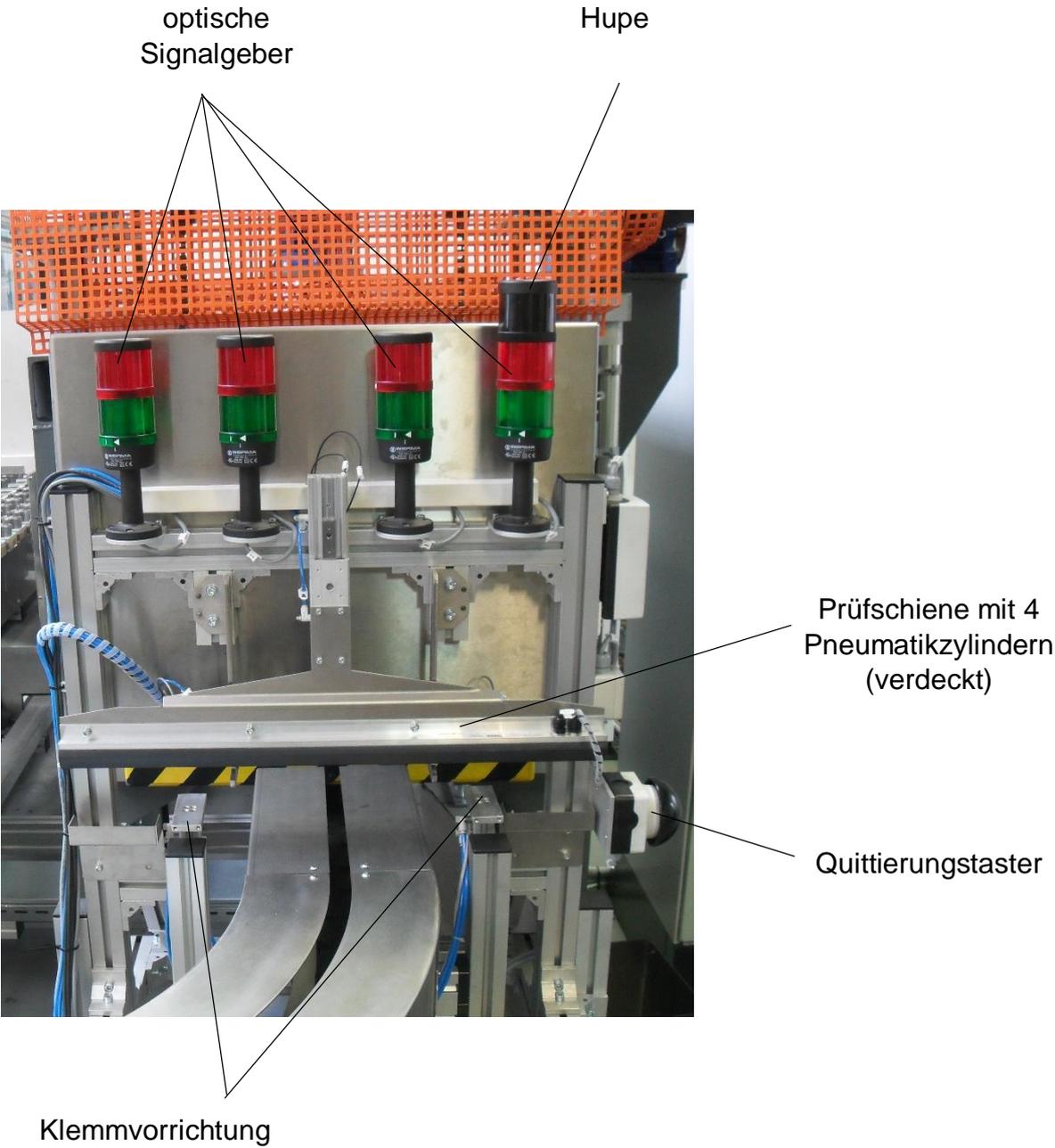


Bestückte Werkstückträger in Kurvenfahrt nach dem Ofendurchlauf

**Anlage 3 Ofen mit integriertem Umlaufband**

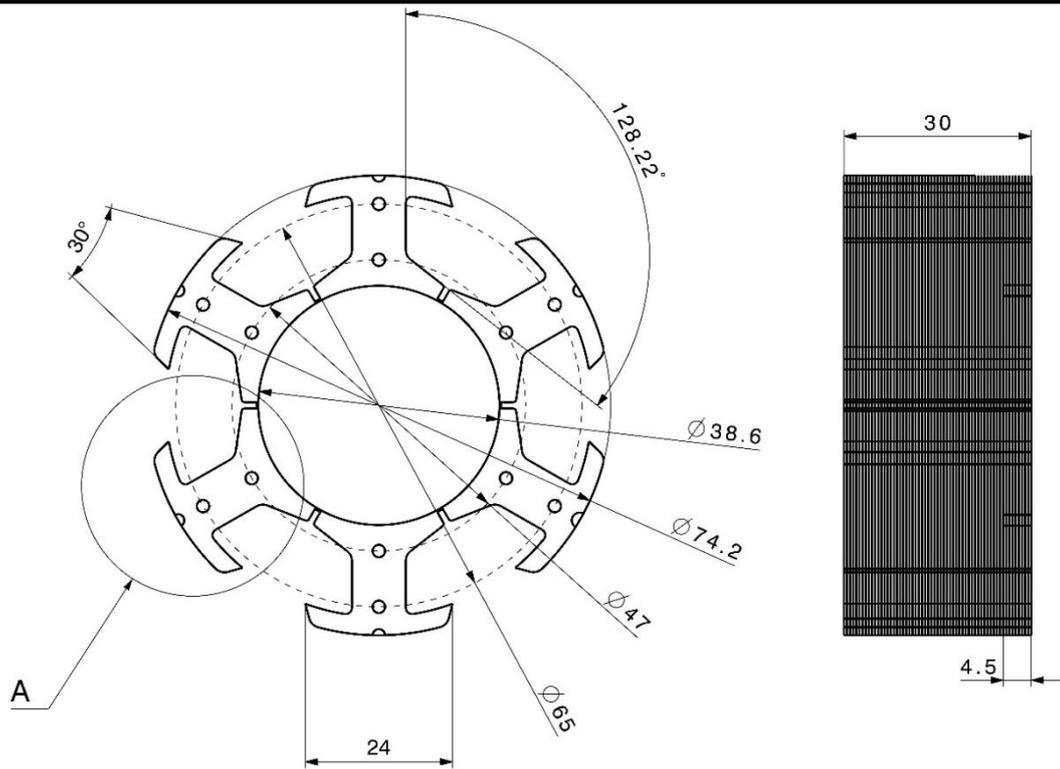


Anlage 4 Foto der Höhenprüfstelle

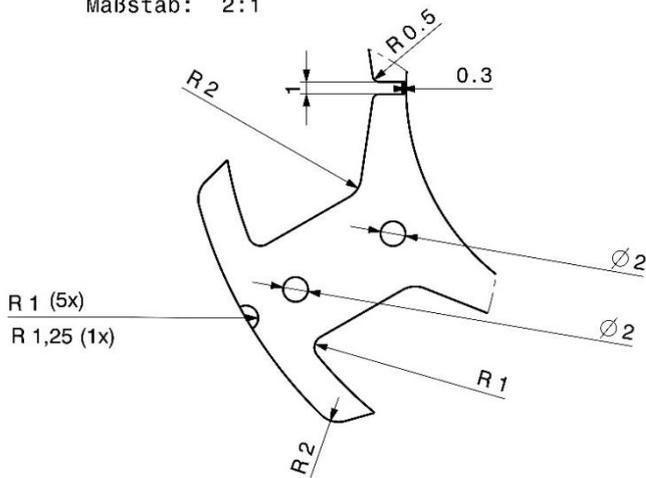


Anlage 5

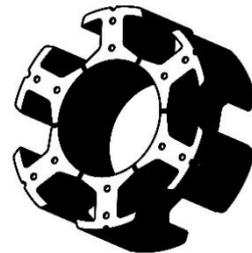
Technischen Maße des Stanzpakets



Detail A  
Maßstab: 2:1

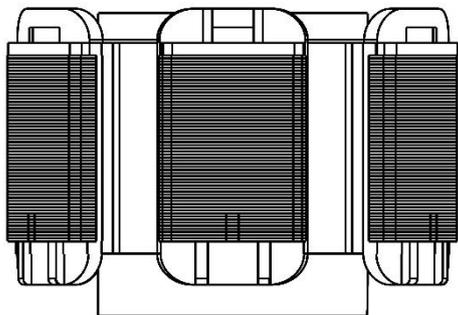
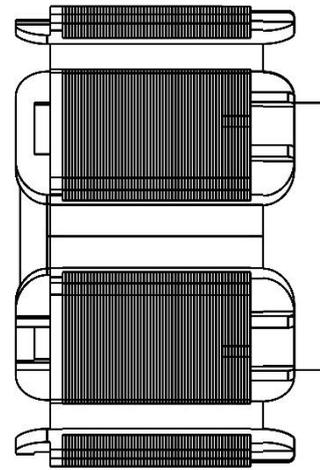
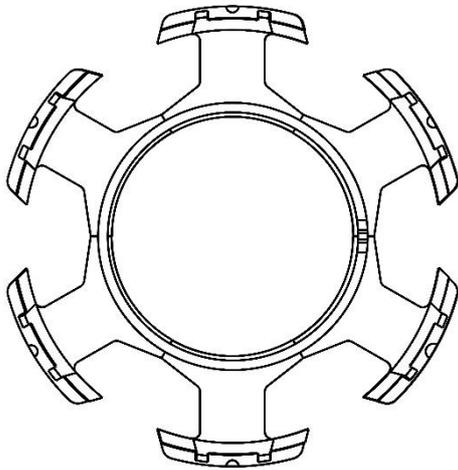


Isometrische Ansicht  
Maßstab: 1:2

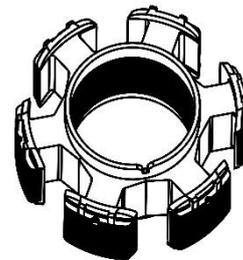


		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768		Oberfl.	Maßstab 1:1	Gewicht keine Angabe	
					Werkstoff, Halbzeug M400-50A nach DIN EN 10106		
		2014	Datum	Name	Benennung <b>Stanzpaket</b>		
		Bearb.	15.05	Böhme			
		Gepr.					
		Norm					
		Hochschule Merseburg			Zeichnungsnummer	1	Blatt 1 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:	Ers. d.:	

# Anlage 6 Umspritztes Stanzpaket



Isometrische Ansicht  
Maßstab: 1:2

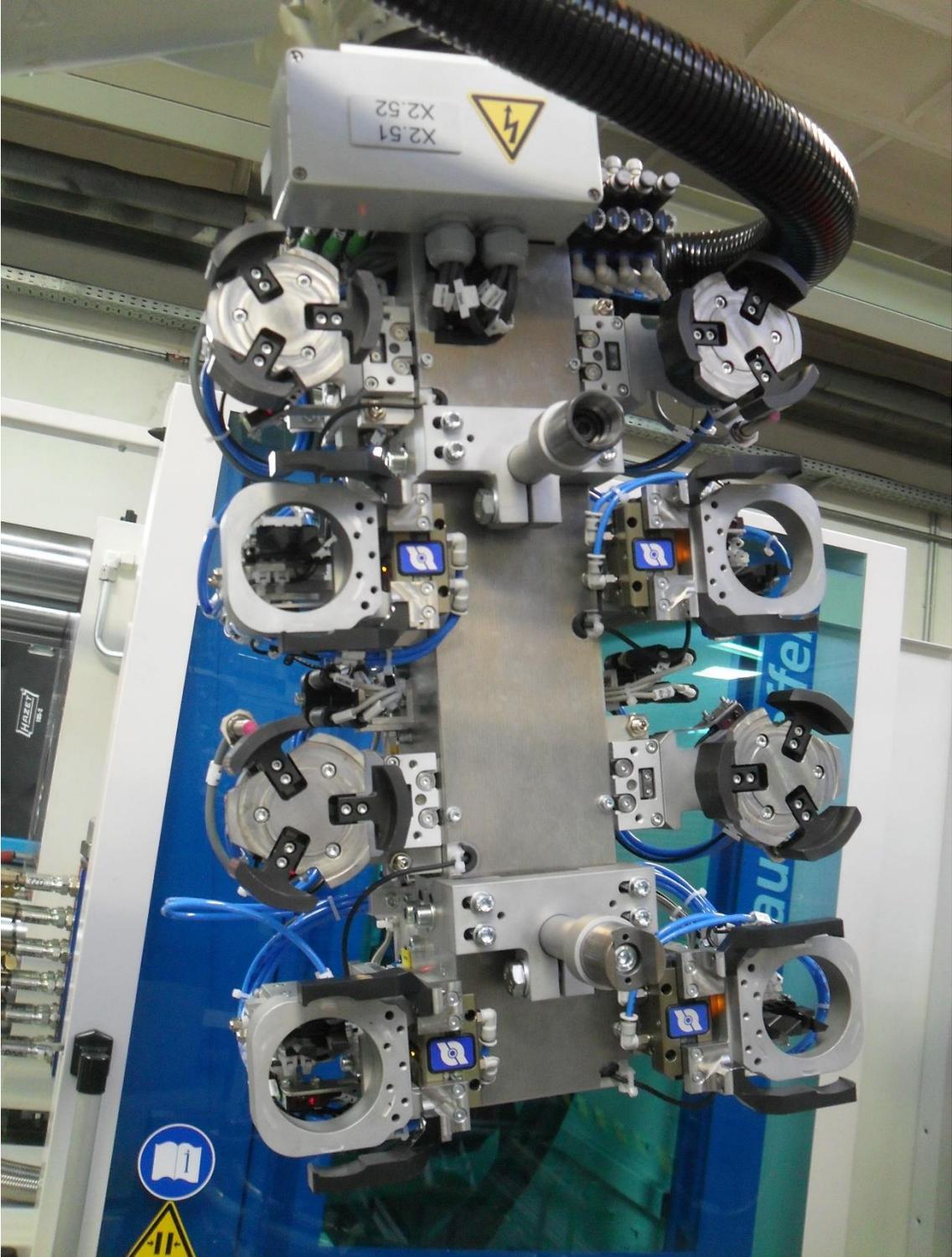


		Zul. Abw. mittel DIN ISO 2768	Oberfl.	Maßstab 1:1 Werkstoff, Halbzeug	Gewicht keine Angabe M400-50A, PPS
		2014 Bearb.	Datum 16.05.	Name Böhme	Benennung <b>Paket gespritzt</b>
		Gepr.		Norm	
		Hochschule Merseburg		Zeichnungsnummer <b>2</b>	Blatt 1 1 Bl.
Zust.	Änderung	Datum	Name	Urspr. CATIA V5	Ers. f.:
					Ers. d.:

**Anlage 7 Foto der Roboterzelle**



Anlage 8 Nahaufnahme des Gesamtgreifers



## Anlage 9 Spritzgießmaschine



Bedienseite der Spritzgießmaschine



Aufnahmesite des Werkzeuges

# Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Merseburg, den 22. Januar 2015

---

Böhme, David