



Marco Schweiger, BSc.

Konzeption und Konstruktion einer Anlage für die automatische Befüllung und Stapelung von Trockenrahmen einer Elektrodenfertigung

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Individuelles Masterstudium

Wirtschaftsingenieurwesen-Maschinenbau

eingereicht an der

Technischen Universität Graz

Betreuer

Dipl.-Ing. Georg Mörwald

Institut für Fertigungstechnik

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit/Diplomarbeit identisch.

Datum

Unterschrift

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Betreuer Dipl.-Ing. Georg Mörwald für seine Unterstützung beim Verfassen sowie der Korrektur dieser Arbeit bedanken.

Insbesondere möchte ich Herrn Ing. Günter Moitzi und Herrn Dipl.-Ing. Erich Neubauer für die Ermöglichung und deren Unterstützung bei der Erstellung meiner Diplomarbeit danken.

Ganz besonderer Dank gilt meiner Familie, die mich stets unterstützt und mir mein Studium ermöglicht hat.

Kurzfassung

Im Zuge dieser Arbeit wird ein Anlagenkonzept zur automatischen Befüllung von Trockenrahmen mit Stabelektroden für das Lichtbogenhandschweißen ausgearbeitet. Die Trockenrahmen werden auf Metallgestellen gestapelt und dienen als Ablage für Stabelektroden während dem Trocknen in einem Standofen. Um den derzeitigen Prozess zu automatisieren, müssen diese von den Metallgestellen abgehoben, gereinigt, mit Elektroden befüllt und anschließend gestapelt werden. Dazu wird ein 6-achsiger Knickarmroboter, mit darauf montiertem Greifer, verwendet. Der speziell für diesen Anwendungsfall konstruierte Greifer positioniert und klemmt die Trockenrahmen durch zwei seitliche Klemmbacken, sowie einer Klemmbacke von oben. Drei Kettenförderer transportieren die Metallgestelle innerhalb der Anlage zu deren Positionen. Die Anlage ist komplett automatisiert und erlaubt eine kontinuierliche Produktion. Der Eingriff eines Mitarbeiters ist nur für die Zufuhr und den Abtransport der Paletten mit Trockenrahmen notwendig.

Abstract

This thesis deals with a plant design for automatic filling of frames with covered electrodes for metal arc welding. The frames which are stacked onto a bigger metal frame serve as a storage for the electrodes during the drying process inside a furnace. Therefore the drying frames need to be unstacked, cleaned, filled with electrodes and finally stacked. In order to do this a 6-axis industrial robot with a mounted claw is used. The claw is developed for this case of application in particular. It has two lateral clamping jaws and one which clamps the drying frame from the top. Three chain conveyers are used for the transportation of the metal frames. The system is fully automated and allows continuous production. An employee only needs to supply and remove the metal frames with the stapeled drying frames.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	iii
Kurzfassung/Abstract	iv
Abkürzungs- und Formelverzeichnis	vi
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Aufgabenstellung	3
1.3 Stabelektroden	4
1.4 Trockenrahmen	5
1.5 Palette	5
1.6 Abnahmeband und Zufuhrband	6
1.7 Massewechsel	6
1.8 Zykluszeit	7
1.9 Stapeln von Zwischenlagen	7
2 Anlagenkonzepte	8
2.1 Knickarmroboter	8
2.2 Raumportal	9
2.3 Paternoster mit mehreren Linearaktoren	11
2.4 Konzeptvergleich	12
3 Anlage mit Knickarmroboter	14
3.1 Stillstandszeiten/Palettenwechselzeit	14
3.1.1 Variante 1 - Ohne automatischem Palettentransport	14
3.1.2 Variante 2 - Mit automatischem Palettentransport	15
3.1.3 Variante 3 - Zwei Pufferplätze und automatischer Palettentransport	16
3.1.4 Variante 4 - Leerrahmenpuffer, zwei Pufferplätze und automatischer Palettentransport	17
3.2 Ablaufplan	19
3.3 Anlagenübersicht	21
3.4 Bewegungsstudie	25
4 Greifer	28
4.1 Anforderungen an den Greifer	28
4.2 Konzept 1 - Klemmen am Winkelprofil	28
4.3 Konzept 2 - Einfahren in das Hohlprofil und Klemmen von oben	31
4.3.1 Ermittlung der Kräfte und des Kolbendurchmessers	32
4.3.2 Auslegung hinsichtlich Festigkeit und Durchbiegung der Finger	34

Inhaltsverzeichnis

4.3.3	Optimieren der Geometrie der Finger	37
4.4	Konzept 3 - Seitliche Klemmbacken	40
4.4.1	Ermittlung der Kräfte und des notwendigen Kolbendurchmessers	41
4.4.2	FEM-Analyse der seitlichen Klemmbacken	43
4.4.3	Auslegung der Pneumatikzylinder der Klemmbacken	45
4.4.4	Mechanik zum Zentrieren der Klemmbacken	47
4.4.5	Auslegung der Linearführungen	47
4.4.6	Sensorik	48
4.5	Konzeptvergleich	49
5	Reinigungsvorrichtung	51
6	Elektrik & Programmierung	53
6.1	Symbolerklärung	56
6.2	Software Ablaufpläne	57
7	Fazit und Ausblick	79
	Literatur	80
	Abbildungsverzeichnis	81
	Tabellenverzeichnis	83
	Anhang	84

Abkürzungs- und Formelverzeichnis

Abkürzungen

bzw	beziehungsweise
min	mindestens
vaBWA	voestalpine Böhler Welding Austria GmbH

Formelzeichen

A_{Kolben}	mm^2	Kolbenfläche des Pneumatikzylinders
a_{max}	m/s^2	maximale Beschleunigung des Knickarmroboters
d_{Kolben}	mm	Kolbendurchmesser des Pneumatikzylinders
F_G	N	Gewichtskraft
F_R	N	Reibungskraft
F_x	N	Kraft in x-Richtung
F_z	N	Kraft in z-Richtung
F_{Zyl}	N	Kraft des Pneumatikzylinders
$F_{Zyl_Rücklauf}$	N	Kraft des Pneumatikzylinders im Rücklauf
$F_{Zyl_Vorlauf}$	N	Kraft des Pneumatikzylinders im Vorlauf
g	m/s^2	Erdbeschleunigung
i	-	Übersetzungsverhältnis
M_{by}	Nm	Biegemoment um die y-Achse
M_X	Nm	Moment um Punkt X
m_E	kg	Masse der Elektroden
m_{Ges}	kg	Gesamtmasse
m_R	kg	Masse eines Trockenrahmens
p_{Nenn}	bar	Nenndruck der Druckluftversorgung
$\mu_{St/St}$	-	Reibwert zwischen Stahl und Stahl
σ_b	N/mm^2	Biegespannung
σ_v	N/mm^2	Vergleichsspannung
τ_Q	N/mm^2	Schubspannung

1 Einleitung

Notwendige Produktivitätssteigerungen, der zunehmende Preisdruck und der Wunsch unergonomische Tätigkeiten zu vermeiden, führen zu vermehrter Automation im Fertigungsprozess. In Zusammenarbeit mit der Firma voestalpine Böhler Welding Austria GmbH wird im Zuge dieser Arbeit das Konzept einer Anlage für die Automatisierung von Teilen einer Elektrodenfertigung ausgearbeitet.

Um ein besseres Verständnis der Aufgabenstellung zu erhalten wird zuerst der aktuelle Ablauf beschrieben. Anschließend werden Begriffe, welche im Verlauf dieser Arbeit verwendet werden, erklärt. Kapitel 2 zeigt die näher betrachteten Konzepte für die Anlage und vergleicht diese miteinander. In Kapitel 3 wird das gewählte Konzept beschrieben und darauf eingegangen welche Maßnahmen notwendig sind, um die geforderte Zykluszeit zu erreichen. Ein Konzeptvergleich sowie die Auslegung des Greifers/Manipulators, welcher für die Anlage notwendig ist, wird in Kapitel 4 durchgeführt. Die Vorrichtung, welche die Trockenrahmen reinigt, ist in Kapitel 5 dargestellt. Kapitel 6 gibt eine Übersicht über den Programmablauf der gesamten Anlage und dient als Hilfestellung bei der späteren Programmierung. Zum Abschluss der Arbeit werden in einem Fazit und Ausblick die Ergebnisse zusammengefasst und auf mögliche Optimierungen und Erweiterungen eingegangen.

1.1 Ausgangssituation

An der Presslinie 2 werden Stabelektroden, nicht wie an den anderen Presslinien üblich im Durchlaufbetrieb produziert, sondern diskontinuierlich mit Trocknung in einem Standofen. Dazu werden die Elektroden auf einem Förderband von einer bestehenden Anlage in Gruppen gleicher Länge unterteilt und anschließend auf Trockenrahmen abgelegt. 56 solcher Trockenrahmen werden in zwei nebeneinander liegenden Stapel auf einem Metallgestell gestapelt und anschließend mittels Hubwagen in den Ofen transportiert. Dieser gesamte Vorgang wird derzeit von drei Mitarbeitern ausgeführt.

Anhand Abbildung 1.1 wird der derzeitige Ablauf veranschaulicht:

1. Der Mitarbeiter nimmt einen leeren Trockenrahmen und reinigt diesen mit einem Tuch;
2. Der Mitarbeiter legt den Trockenrahmen auf ein Blech unter dem Förderband und schiebt ihn zwischen die beiden Bahnen des Förderbands;
3. Sobald die Elektroden die richtige Position über dem Rahmen erreicht haben, hebt ein weiterer Mitarbeiter den Trockenrahmen zwischen den beiden Bahnen des Förderbands hoch;
4. Der, mit Elektroden belegte, Trockenrahmen wird auf einem weiteren Metallgestell abgelegt. Auf diesem Gestell werden in zwei Stapeln nebeneinander insgesamt 56 Trockenrahmen gestapelt;

1 Einleitung

5. Der dritte Mitarbeiter ist für den Abtransport der befüllten Gestelle und für die Zufuhr von Metallgestellen mit leeren Trockenrahmen verantwortlich.

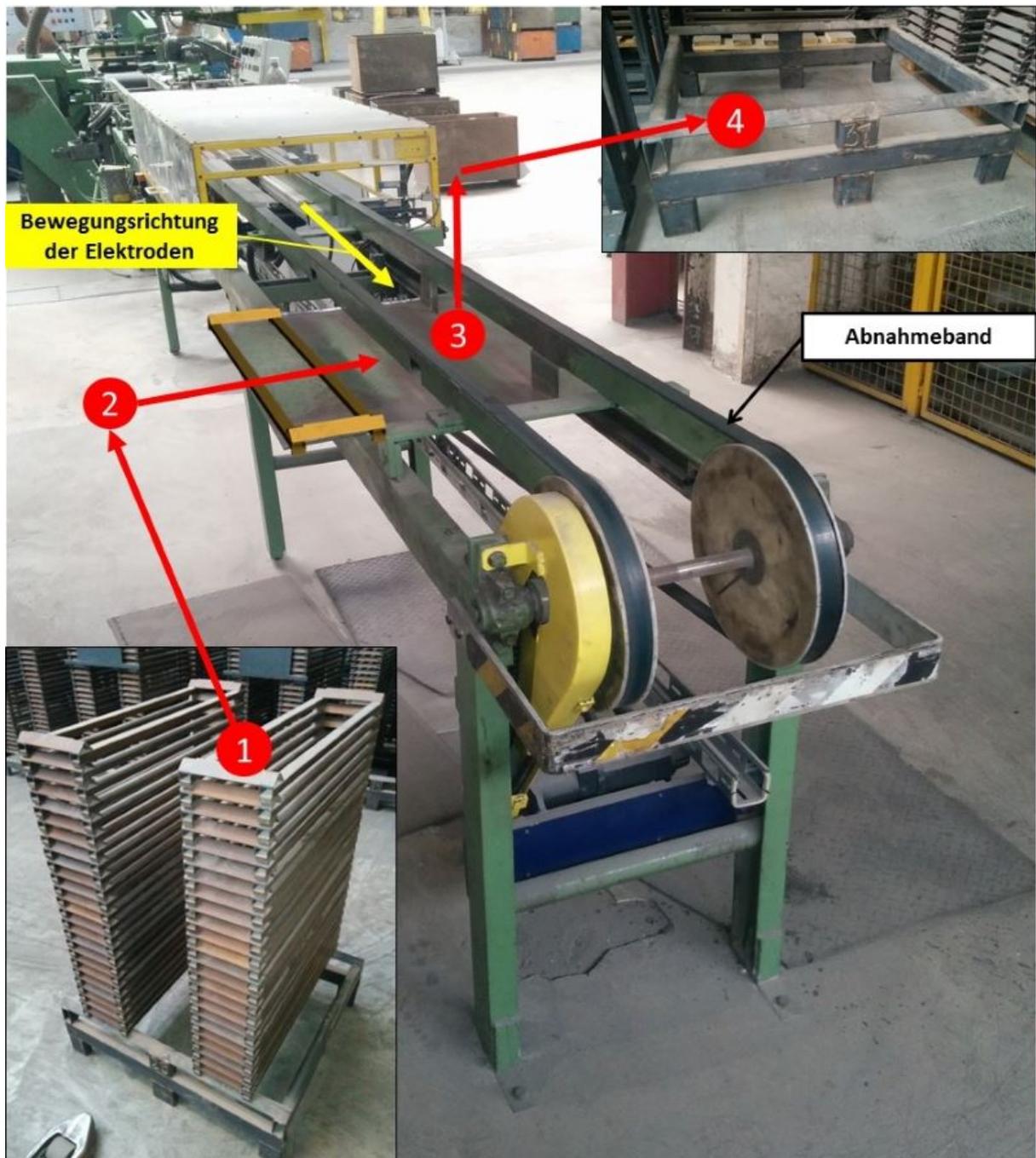


Abbildung 1.1: Ausgangssituation, Quelle: Eigene Darstellung.

Kritische Punkte im derzeitigen Ablauf

- Körperlich anspruchsvolle Arbeit;
 - Die, mit Elektroden belegten Rahmen wiegen 8 -18 kg;
 - Bei einem noch wenig belegten Metallgestell muss der Mitarbeiter die Rahmen nahezu am Boden abstellen. Dieses ständige Bücken belastet den Körper;

- monotone Arbeit.
- Produktivität;
 - Stillstand: Beim Wechseln der Metallpaletten muss die gesamte Anlage pausieren;
 - Die Anlagengeschwindigkeit muss teilweise verringert werden um die Mitarbeiter nicht zu überlasten.
- Hoher Personalaufwand.
 - 3 Mitarbeiter notwendig.

1.2 Aufgabenstellung

Es ist ein Gesamtkonzept für eine Anlage zu erstellen, welche den in Kapitel 1.1 beschriebenen Prozess, automatisiert. Dazu muss die Anlage Trockenrahmen von Metallgestellen entstapeln, reinigen, diese mit Stabelektroden befüllen und die befüllten Trockenrahmen stapeln. Dabei darf die geforderte Zykluszeit von 11 s für den gesamten Vorgang nicht überschritten werden. Für eine gleichmäßigere Trocknung ist es bei bestimmten Elektrodenqualitäten notwendig, unbefüllte Trockenrahmen als Zwischenlage einzufügen und zu stapeln. Die Anlage muss deshalb in der Lage sein, zwischen zwei Trockenrahmen, welche mit Elektroden belegt sind, jeweils einen leeren Trockenrahmen als Zwischenlage einzufügen. Die Metallgestelle mit den darauf gestapelten Trockenrahmen werden mit Hilfe eines Elektro-Hubwagens von einem Mitarbeiter transportiert. Um ein Kippen der Trockenrahmen während dem Transport zu vermeiden, ist es notwendig die Trockenrahmen abwechselnd links und rechts zu stapeln, sodass beide Stapel jederzeit nahezu die gleiche Höhe aufweisen. Auf jedem Metallgestell sind 56 Trockenrahmen zu stapeln. Die Anlage muss in die bestehende Fertigung ohne gravierende Umbauten integrierbar sein. Die bereits vorhandenen Trockenrahmen müssen weiterverwendet werden.

Für die Gesamtanlage ist ein Konzept zu erstellen, welches in Zusammenarbeit mit externen Firmen einfach umgesetzt werden kann. Dabei sind alle Baugruppen, die eine aufwändige, individuelle Neukonstruktion erfordern, selbst zu konstruieren. Dies gilt zum Beispiel für einen eventuell notwendigen Greifer um die Trockenrahmen manipulieren zu können. Komponenten wie Fördertechnik, Sicherheitszäune, usw. sind zwar im Konzept einzuplanen, müssen aber nicht als Detailkonstruktion ausgeführt werden. Um in einer späteren Angebotsphase, auf eine dokumentierte und einheitliche Basis der Anlagenabläufe zurückgreifen zu können, ist ein schematischer Programmablaufplan anzufertigen.

Zusammenfassend sind die Anforderungen an das Konzept in Abbildung 1.2 dargestellt.

1 Einleitung

Automatisierter Ablauf <ul style="list-style-type: none">• Zufuhr der Trockenrahmen;• Reinigung der Trockenrahmen;• Befüllen der Trockenrahmen mit Elektroden;• Stapeln der befüllten Trockenrahmen.	Stapeln von Zwischenlagen <p>Für eine gleichmäßigere Trocknung ist es bei bestimmten Elektrodenqualitäten notwendig, unbefüllte Trockenrahmen als Zwischenlage einzufügen und zu stapeln.</p>
Abwechselndes Stapeln <p>Um eine gleichmäßige Gewichtsverteilung auf dem Metallgestell zu gewährleisten, müssen die Rahmen abwechselnd links und rechts auf diesem gestapelt werden.</p>	56 Trockenrahmen pro Metallgestell Zykluszeit: 11 s Keine Stillstandszeiten während den Palettenwechsel
Weiterverwendung der bestehenden Trockenrahmen	Umbauten so gering wie möglich halten

Abbildung 1.2: Aufgabenstellung, Quelle: Eigene Darstellung.

1.3 Stabelektroden

Stabelektroden (siehe Abbildung 1.3) bestehen aus einer Umhüllung, welche auf einen Kerndraht aufgedrückt wird. Die Abmessungen, der an der Presse 2 der vaBWA gefertigten Elektroden, betragen:

- Kerndraht-Durchmesser: 3,2 – 6,0 mm;
- Enddurchmesser (inklusive Hülle): 6,0 – 14,4 mm;
- Länge: 350 – 450 mm.



Abbildung 1.3: Stabelektrode, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Umhüllung der Stabelektroden hat folgende Aufgaben: ¹

- stabilisieren des Lichtbogens;
- umgeben des Lichtbogens mit einem Schutzgasmantel;
- bilden der Schlacke;
- auflegieren des Schweißguts.

Bei der Konstruktion der Anlage ist auf die Hüllenbeschaffenheit Rücksicht zu nehmen. Im ungetrockneten Zustand, direkt nach dem Pressen ist diese noch weich und dadurch anfällig für Druckstellen. Deshalb ist darauf zu achten die Auflagefläche der Elektroden so groß wie möglich und die Kraft, welche auf die Elektroden wirkt, so gering wie möglich zu halten.

¹Vgl. Fahrenwaldt, H./Schuler, V. (2009), S. 34.

1.4 Trockenrahmen

Auf den stapelbaren Trockenrahmen werden die Stabelektroden für die weitere Trocknung abgelegt. Die Trockenrahmen zählen zum Bestand, dürfen nach Angaben der vaBWA nicht verändert werden und müssen durch die Anlage manipulierbar sein. Abbildung 1.4 zeigt einen Trockenrahmen mit dessen Abmessungen.

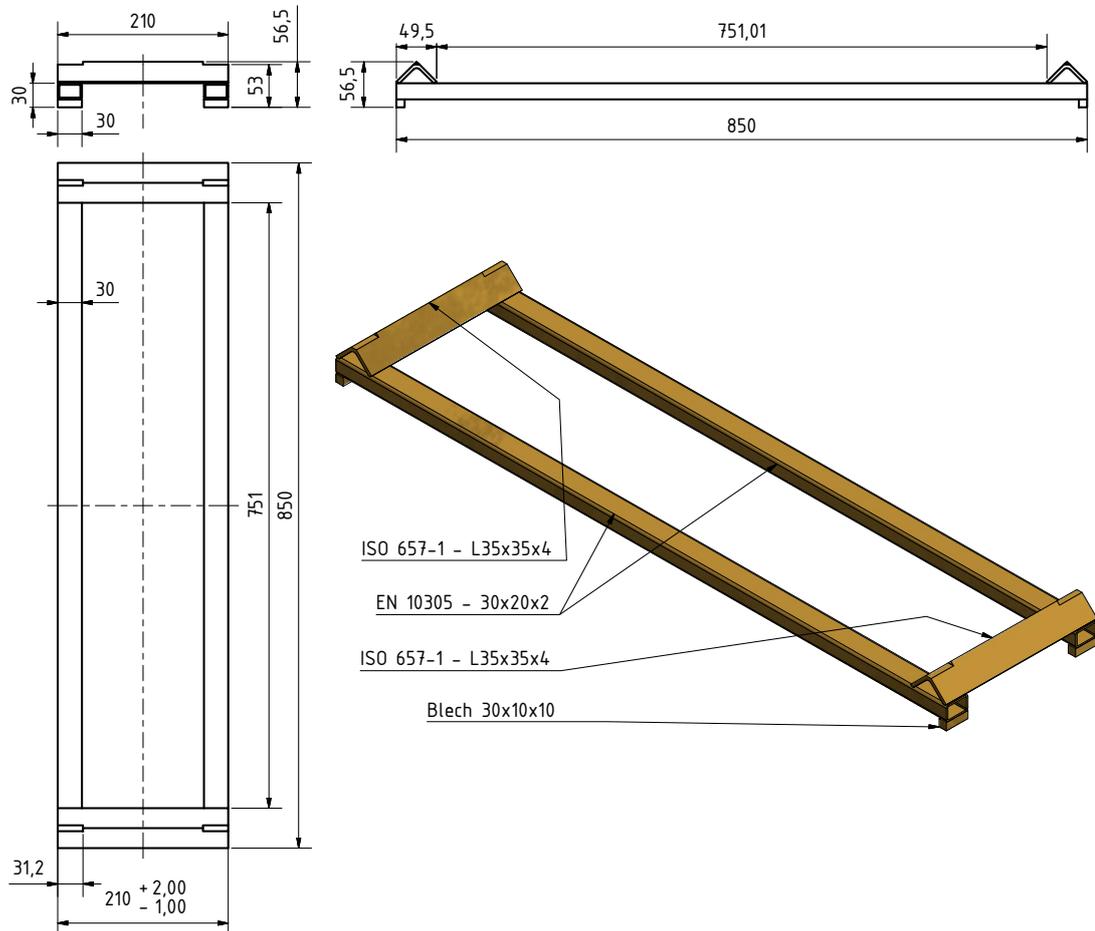


Abbildung 1.4: Trockenrahmen, Quelle: Eigene Darstellung.

1.5 Palette

Die in dieser Arbeit als Palette bezeichnete Schweißkonstruktion, welche in Abbildung 1.5 dargestellt wird, ist ein Metallgestell auf welchem die Trockenrahmen gestapelt werden. Sie ist von einem Hubwagen unterfahrbar und lässt sich somit einfach transportieren. Die bestehenden Paletten sind, wenn möglich, weiterzuverwenden.

1 Einleitung

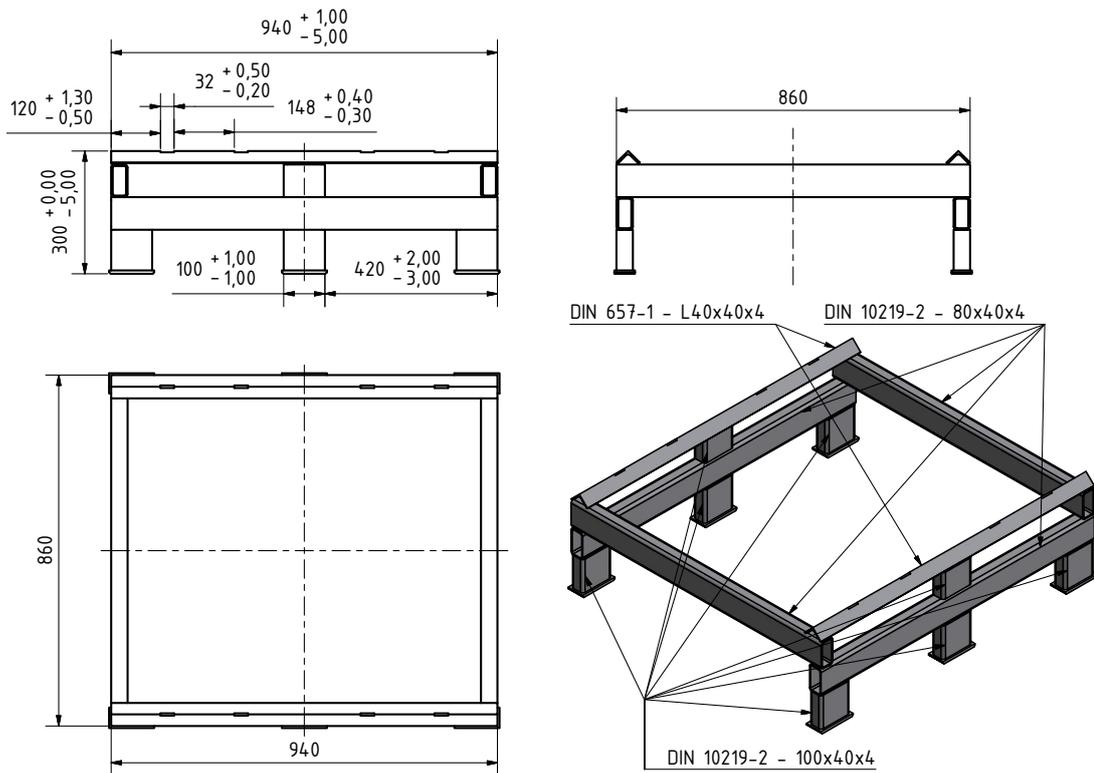


Abbildung 1.5: Palette, Quelle: Eigene Darstellung.

1.6 Abnahmeband und Zufuhrband

Als Abnahmeband wird das bestehende Förderband, auf welchem die Elektroden derzeit transportiert werden, bezeichnet (siehe Abbildung 1.1). Im Zuge des Umbaus muss dieses Förderband gekürzt werden. Die Elektroden werden der Anlage über ein weiteres Förderband, welches als Zufuhrband bezeichnet wird, in Gruppen zu je 700 mm Länge, mit einem Abstand von min. 100 mm zueinander, zugeführt (siehe Abbildung 1.6).

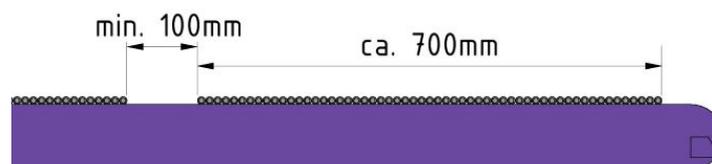


Abbildung 1.6: Zufuhrband mit Elektrodengruppen, Quelle: Eigene Darstellung.

1.7 Massewechsel

Massewechsel bedeutet, das Umstellen der Produktion dieser Presslinie auf einen anderen Elektrodentyp. Die Presse muss dafür umgebaut und gereinigt werden. Je nach zu produzierender

Losgröße kann es innerhalb einer 8 Stunden Schicht zu 0 bis 8 Massewechsel kommen. Ein solcher Umbau dauert mindestens 15 Minuten.

1.8 Zykluszeit

In Abhängigkeit von Elektrodentyp, -Durchmesser und -Länge, ergibt sich eine individuelle Produktionsgeschwindigkeit. Anhand einer Auswertung der aktuellen Produktionsgeschwindigkeiten an der Presse 2 der vaBWA und der Länge einer Gruppe von Elektroden wurde die aktuelle minimale Zykluszeit von 13,22s ermittelt. Um für zukünftige Geschwindigkeitserhöhungen gerüstet zu sein, wird die geforderte Zykluszeit in Rücksprache mit den Produktionsverantwortlichen auf 11 s festgelegt.

1.9 Stapeln von Zwischenlagen

Bei bestimmten Elektrodentypen ist es für die Trocknung von Vorteil sogenannte Zwischenlagen einzufügen. Dabei werden abwechselnd leere Trockenrahmen und mit Elektroden befüllte Trockenrahmen gestapelt. Dies erhöht den vertikalen Abstand der Elektroden zueinander und verbessert so die Trocknung.

2 Anlagenkonzepte

Im Zuge eines Brainstormings wurden viele unterschiedliche Konzeptideen behandelt. In einer Diskussionsrunde wurden ungeeignete Varianten aussortiert und auf drei Konzepte reduziert, die in diesem Kapitel näher betrachtet werden.

2.1 Knickarmroboter

Bei diesem Konzept werden die Trockenrahmen durch einen Knickarmroboter, welcher mit einem speziellen Greifer ausgestattet wird, manipuliert. Die Rahmen werden, wie in Abbildung 2.1 dargestellt, links neben dem Zufuhrband entstackelt. Anschließend verfährt der Roboter mit dem Rahmen zwischen dem Förderband hoch, um so die Elektroden aufzunehmen. Die belegten Trockenrahmen werden rechts neben dem Förderband vom Roboter automatisch gestapelt. Der Vorteil dieses Konzepts liegt im relativ geringen Eigen-Konstruktionsaufwand, da der Knickarmroboter sämtliche benötigten Bewegungen durchführen kann. Es ist zudem kein aufwändiger Stahlbau notwendig, da der Roboter einfach im Boden oder mit einem Robotersockel verschraubt werden kann. Änderungen und Optimierungen am Prozess sind durch die hohe Flexibilität eines Knickarmroboters jederzeit möglich. Außer den regelmäßigen Wartungsintervallen des Roboters ergibt sich ein geringer Wartungsaufwand aufgrund von wenigen, zusätzlich zum Knickarmroboter, notwendigen Baugruppen/Bauteilen.

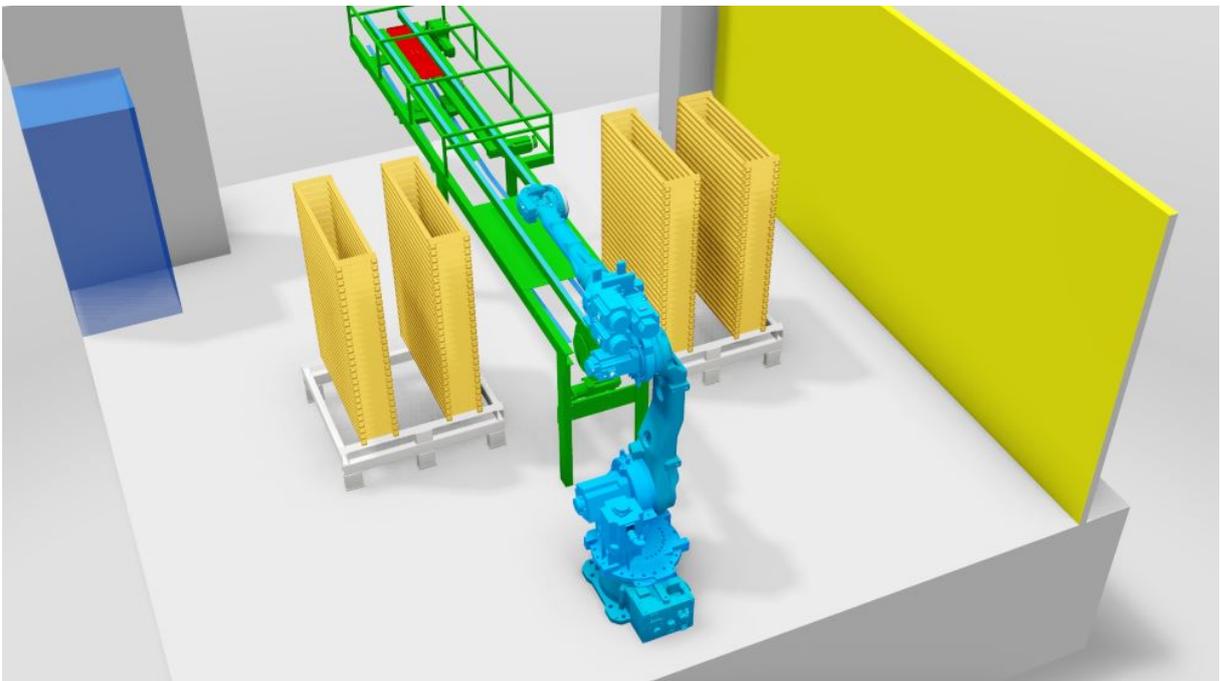


Abbildung 2.1: Konzept-Knickarmroboter, Quelle: Eigene Darstellung.

Zusätzlicher Hubtisch an der Stapelseite

Eine Variante dieses Konzeptes sieht die Verwendung eines Scherenhubtisches an der Stapelseite vor. Dieser verfährt das Gestell mit den belegten Trockenrahmen vertikal und richtet somit den obersten belegten Trockenrahmen auf das Höhenniveau des Zufuhrbandes aus. Dadurch wird der Verfahrensweg des Knickarmroboters verringert und somit Zykluszeit eingespart.

Zusätzliche Hubtische an beiden Seiten

Bei einer Überschreitung der Zykluszeit bei der Verwendung eines Hubtisches an der Stapelseite, muss ein weiterer Hubtisch an der Entstapelseite vorgesehen werden. Dieser richtet ebenfalls die Oberkante der Trockenrahmen auf die Höhe des Zufuhrbandes aus, um dadurch den Verfahrensweg des Knickarmroboters noch weiter zu reduzieren.

Ohne Hubtisch

Die Scherenhubtische müssen in einer Grube versenkt eingebaut werden, was teure, zeit-, schmutz- und lärmintensive Fundamentierungsarbeiten zur Folge hat. Außerdem wird der Palettenweitertransport durch die Scherenhubtische erheblich erschwert. Bevorzugt soll die geforderte Zykluszeit von 11 s deshalb ohne die Verwendung eines Scherenhubtisches erreicht werden.

Einschub: Eine, im Kapitel 3.4 durchgeführte Zykluszeitanalyse ergibt, dass die Zykluszeit, auch ohne die Verwendung von Hubtischen, knapp eingehalten werden kann.

2.2 Raumportal

Ein 3-achsiges Raumportal wird, wie in Abbildung 2.2 dargestellt, über den Paletten aufgebaut. Der Ablauf gleicht dem des Konzepts mit Knickarmroboter. Sämtliche notwendigen Bewegungen werden durch das Raumportal sowie einen, auf diesem montierten Greifer, abgedeckt. Dadurch reduziert sich der notwendige Eigen-Konstruktionsaufwand erheblich. Aufgrund der hohen Dynamik des Systems muss der Stahlbau sehr robust ausgeführt werden. Der skizzierte Stahlbau der Abbildung wäre dabei voraussichtlich nicht ausreichend. Ein Vorteil des Raumportals stellt der, in der Regel, niedrigere Energieverbrauch im Vergleich zum Knickarmroboter dar. Außer der vertikalen z-Achse benötigt keine der Achsen im Stillstand Energie um die Position zu halten.

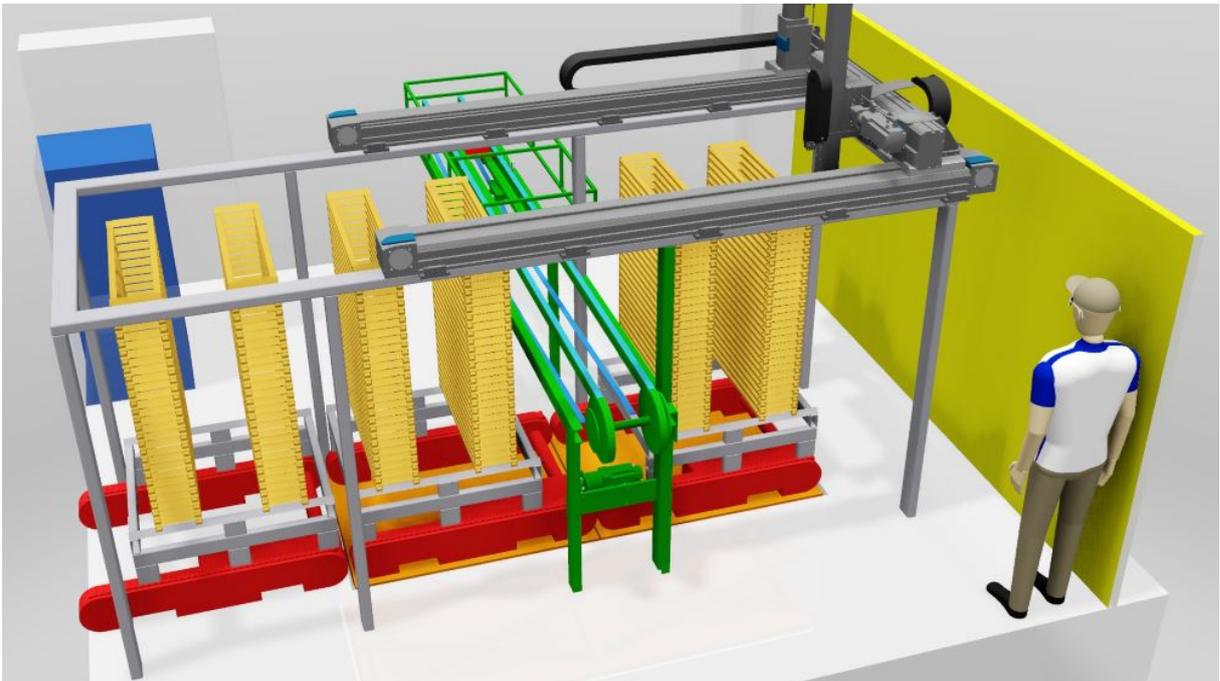


Abbildung 2.2: Konzept-Raumportal, Quelle: Eigene Darstellung.

Mit Hubtisch

Standard-Raumportale bieten meist einen geringen Hub in vertikaler Richtung weshalb bei diesem Konzept Scherenhubtische auf beiden Seiten notwendig sind. Der Weitertransport der Paletten ist bei der Verwendung von Hubtischen problematisch. Die Scherenhubtische müssen dafür in die Neutralposition (Bodenhöhe) verfahren um den Weitertransport zu ermöglichen. Dadurch ist ein stillstandsfreier Palettenwechsel nicht mehr möglich.

Ohne Hubtisch

Bei diesem Konzept ist die Verwendung von Scherenhubtischen auf beiden Seiten des Zufuhrbandes in jedem Fall notwendig um die geforderte Zykluszeit von 11 s erreichen zu können.

2.3 Paternoster mit mehreren Linearaktoren

Dieses Konzept erfordert einen sehr hohen Konstruktionsaufwand. Mehrere Linear-Aktoren übernehmen dabei das Vereinzeln der Trockenrahmen, das Aufnehmen der Elektroden auf die Trockenrahmen sowie das Zuführen der Trockenrahmen zu einem Paternoster. Dieser Paternoster legt die Trockenrahmen auf den Paletten ab. Abbildung 2.3 skizziert dieses Konzept.

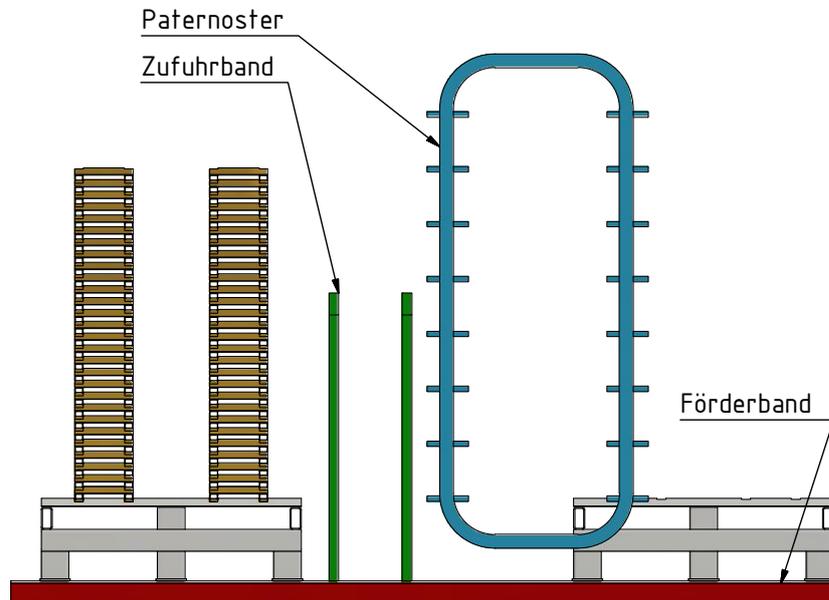


Abbildung 2.3: Konzept-Paternoster Übersicht, Quelle: Eigene Darstellung.

In der dargestellten Ausführung ist kein abwechselndes Stapeln der linken und rechten Seite möglich. Eine Verbreiterung des Paternosters würde aber, bei Hin- und Herbewegen der Palette auf dem Förderband, ein beidseitiges Stapeln ermöglichen. Durch die vielen Komponenten dieses Systems ist erfahrungsgemäß mit einer längeren Inbetriebnahmephase, bis zum Erreichen einer ausreichenden Prozesssicherheit, zu rechnen. Zudem ist das Umsetzungsrisiko, insbesondere das Risiko Scheiterns und Kostenüberschreitung, bei diesem Konzept durch die hohe Komplexität sehr hoch.

Der Ablauf dieser Anlage wird in Abbildung 2.4 in den Punkten 1 bis 4 dargestellt.

- 1:** Ein Pneumatikzylinder hebt einen Stapel der Palette an.
- 2:** Der Stapel wird in dieser Position fixiert und ein weiterer Zylinder befördert einen Trockenrahmen unter das Zufuhrband.
- 3:** Sobald sich die Elektroden in der richtigen Position über dem Trockenrahmen befinden, hebt ein Pneumatikzylinder den Trockenrahmen zwischen den beiden Transportbändern des Zufuhrbandes hoch und belegt diesen somit mit Elektroden.
- 4:** Der befüllte Rahmen wird mittels Pneumatikzylinder dem Paternoster zugeführt. Der Paternoster bewegt sich dabei nicht kontinuierlich sondern getaktet. Die Aufnahmen des Paternosters sind so ausgeführt, dass diese bei der Aufwärtsbewegung die Trockenrahmen mitnehmen. Bei der Abwärtsbewegung kippen die Aufnahmen, ähnlich einem Freilauf, an einem Scharnier nach oben hin weg und ermöglichen so das Ablegen der Trockenrahmen.

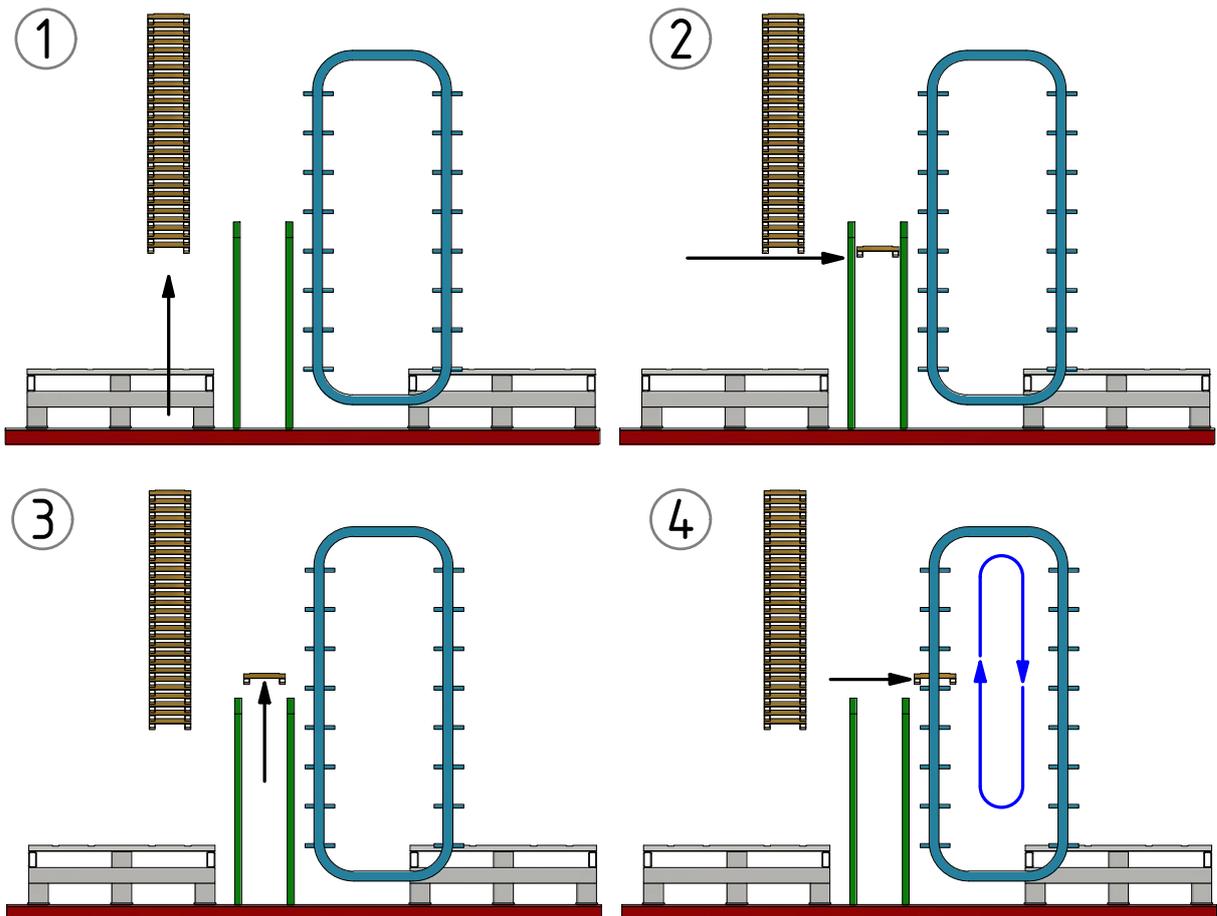


Abbildung 2.4: Konzept-Paternoster Ablauf, Quelle: Eigene Darstellung.

2.4 Konzeptvergleich

Zusammenfassend wird die Auswahl des Konzepts in einer Tabelle in Anlehnung an Pahl Beitz dargestellt.

Der Vergleich der Konzepte erfolgt anhand einer Nutzwertanalyse mit der Bewertungsskala der Richtlinie VDI 2225². Diese in Tabelle 2.1 dargestellte Skala verwendet für die Bewertung einen Wertebereich 0 bis 4. Die Punktevergabe erfolgte in einer Diskussionsrunde an welcher drei Konstrukteure, der Leiter der Instandhaltung sowie der Produktionsleiter der vaBWA teilnahmen. Die Bewertung aufgrund von Erfahrungswerten wird von den Projektverantwortlichen als ausreichend erachtet.

²Vgl. VDI 2225, 1998, S. 4.

2 Anlagenkonzepte

Werteskala nach VDI 2225	
sehr gut (ideal)	4
gut	3
ausreichend	2
gerade noch tragbar	1
unbefriedigend	0

Tabelle 2.1: Werteskala nach VDI 2225 Blatt 3:1998-11, Quelle: VDI 2225 Blatt 3 (1998-11), S. 4 (leicht modifiziert).

Kriterium	Gew. Rel.	Gew. Abs.	Knickarmrob. ohne Hubtisch		Raumportal ohne Hubtisch		Raumportal mit 1x Hubtisch		Raumportal mit 2x Hubtisch		Paternoster	
			Bew.	Ges.	Bew.	Ges.	Bew.	Ges.	Bew.	Ges.	Bew.	Ges.
Funktionalität	60		192		150		84		108		150	
Flexibilität	10	6	4	24	3	18	2	12	2	12	1	6
Zykluszeit	30	18	2	36	0	0	0	0	2	36	4	72
Beidseitiges Stapeln	20	12	4	48	4	48	4	48	4	48	2	24
Dauer der Palettenwechsel	20	12	3	36	3	36	0	0	0	0	3	36
Erwartete Prozesssicherheit	20	12	4	48	4	48	2	24	1	12	1	12
Komplexität & Kosten	20		46,4		53,6		37,2		35,6		32,6	
Kosten	25	5	1	5	2	10	1	5	1	5	1	5
Konstruktionsaufwand	15	3	3	9	2	6	1	3	1	3	0	0
Notwendiger Hallenumbau	8	1,6	4	6,4	4	6,4	2	3,2	1	1,6	3	4,8
Notwendiger Stahlbau	8	1,6	4	6,4	2	3,2	2	3,2	2	3,2	1	1,6
Aufwand Sicherheitseinrichtungen	8	1,6	2	3,2	2	3,2	2	3,2	2	3,2	3	4,8
Aufwand der Inbetriebnahme	10	2	3	6	3	6	2	4	2	4	1	2
Energieverbrauch	16	3,2	2	6,4	4	12,8	3	9,6	3	9,6	2	6,4
Ersatzteilkosten	10	2	2	4	3	6	3	6	3	6	4	8
Instandhaltung	20		52		60		51		51		62	
Ersatzteilverfügbarkeit	35	7	3	21	3	21	3	21	3	21	4	28
Häufigkeit und Dauer vorhandenes Know-How	45	9	3	27	3	27	2	18	2	18	2	18
	20	4	1	4	3	12	3	12	3	12	4	16
Gesamt			290,4		263,6		172,2		194,6		244,6	

Gew. = Gewichtung; Rel. = Relativ; Abs. = Absolut; Bew. = Bewertung; Ges. = Gesamt-Punkte

Tabelle 2.2: Nutzwertanalyse - Konzeptvergleich, Quelle: Eigene Darstellung.

Aus der Nutzwertanalyse in Tabelle 2.2 geht eindeutig das Konzept mit einem Knickarmroboter ohne Hubtisch als die zu präferierende Lösung hervor. Es erhält mit 290,4 Punkten den höchsten Wert. Zudem weisen alle anderen betrachteten Konzepte in mindestens einem Punkt unzureichende Werte auf, was zum Ausscheiden dieser führt. Das Raumportal ohne Hubtisch, sowie mit einem stapelseitigen Hubtisch, können die geforderte Zykluszeit nicht erfüllen. Aufgrund der beiden Hubtische ist es nicht möglich einen Palettenwechsel ohne Stillstand durchzuführen, weshalb diese Lösung als unbefriedigend eingestuft wird. Der Konstruktionsaufwand für die Lösung mit Paternoster und Linearaktoren wird als zu hoch eingestuft um weiterverfolgt zu werden.

Da aufgrund der technischen Bewertung das Konzept "Knickarmroboter ohne Hubtisch" als einziges überzeugt, wird auf eine weitere Nutzen zu Kosten Analyse verzichtet.

3 Anlage mit Knickarmroboter

Basierend auf der Nutzwertanalyse im Kapitel 2.4 erfolgt die Festlegung auf das Konzept mit einem Knickarmroboter ohne Hubtisch. Im folgenden Kapitel 3.1 wird eine Lösung erarbeitet um die Stillstandszeiten der Anlage so gering wie möglich zu halten.

3.1 Stillstandszeiten/Palettenwechselzeit

An den ersten gepressten Elektroden können bei einem Wiederanlauf, nach einem Stillstand der Elektrodenpresse, Hüllenprobleme auftreten. Das ist der Hauptgrund warum Stillstände in der vorgelagerten Elektrodenpresse zu vermeiden sind. Insbesondere Palettenwechsel können jedoch einen Stillstand der Anlage und somit der Elektrodenpresse zur Folge haben. Die Stillstandszeit während einem Palettenwechsel muss so gering wie möglich gehalten werden, oder im Idealfall durch einen kontinuierlichen Prozess komplett eliminiert werden. Falls die Anlage keine kontinuierliche Produktion erlaubt, müssen die, während der Stillstandsphase produzierten, Elektroden gepuffert/zwischengelagert und später wieder abgearbeitet werden. Die Verantwortlichen der vaBWA bevorzugen jedoch eine Lösung ohne Zwischenlagerung der Elektroden.

3.1.1 Variante 1 - Ohne automatischem Palettentransport

In der Grundvariante ist jeweils ein Palettenstellplatz an der Stapelseite sowie an der Entstapelposition vorhanden. Der Mitarbeiter stellt eine Palette mit leeren Trockenrahmen an der Entstapelposition ab. In die Stapelposition stellt er eine leere Palette. Die Trockenrahmen werden durch den Knickarmroboter entstapelt, mit Elektroden belegt und an der Stapelseite gestapelt. Sobald die rechte Palette komplett befüllt ist, muss der Mitarbeiter die Paletten wechseln. Zuvor muss er eine, in der Abbildung nicht dargestellte, Schiebetüre, des die Anlage umgebenden Sicherheitszauns, öffnen. Anschließend muss er die volle Palette entfernen, die leere Palette der linken Seite händisch in die Stapelposition transportieren und eine, mit leeren Trockenrahmen befüllte, Palette an der Stapelposition zuführen. Während dieser gesamten Zeit stehen sowohl die Anlage, als auch die Elektrodenpresse still. Die Stillstandsdauer beträgt, wie Tabelle 3.1 zeigt, in etwa zwei Minuten. Abbildung 3.1 veranschaulicht den Aufbau.

3 Anlage mit Knickarmroboter

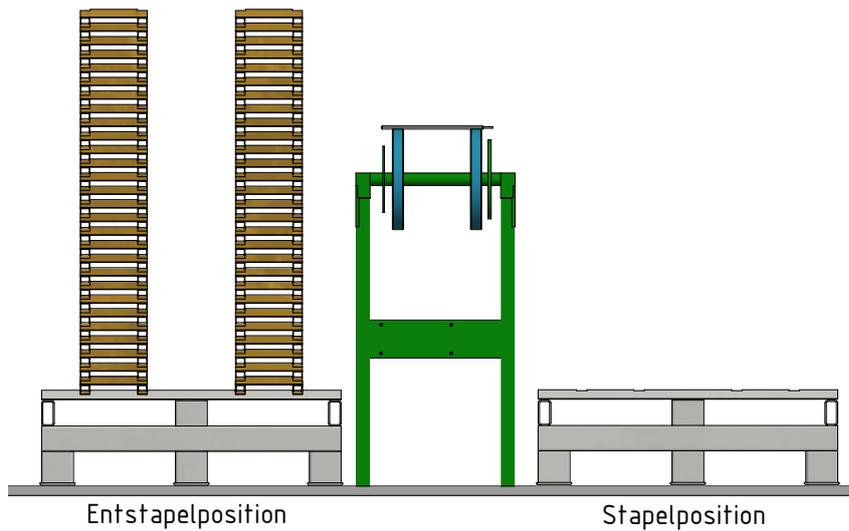


Abbildung 3.1: Stillstandszeit - Variante 1, Quelle: Eigene Darstellung.

Tabelle 3.1 zeigt die Stillstandszeit dieser Variante.

Sekunden	1 min >						2 min >						
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
1	Rechts: Sicherheitszaun öffnen	■											
2	Rechts: Volle Palette mit Hubwagen aufnehmen	■	■										
3	Rechts: Volle Palette transportieren und abstellen			■	■	■							
4	mit Hubwagen zur Anlage zurückkehren					■	■						
5	Neue Palette mit Hubwagen aufnehmen							■					
6	Rechts: Leere Palette in die Stapelposition schieben								■				
7	Rechts: Sicherheitszaun schließen und quittieren									■			
8	Links: Sicherheitszaun öffnen										■		
9	Links: Neue Palette transportieren und abstellen											■	■
10	Links: Hubwagen zurückfahren und abstellen												■
11	Links: Sicherheitszaun schließen und quittieren												

Tabelle 3.1: Stillstandszeit - Variante 1, Quelle: Eigene Darstellung.

3.1.2 Variante 2 - Mit automatischem Palettentransport

Durch den Einbau einer Transportvorrichtung (siehe Abbildung 3.2) für die leere Palette der Entstapelseite kann der Mitarbeiter sofort nach dem Verlassen des Sicherheitsbereichs den Schutzzaun schließen und quittieren. Quittieren bedeutet in diesem Fall das Bestätigen über einen Taster, dass sich kein Mitarbeiter innerhalb des Sicherheitszauns befindet. Die leere Palette wird dadurch, bereits während der Mitarbeiter die volle Palette abtransportiert, in die Stapelposition befördert. Der Ablauf und die daraus resultierende Zeitersparnis wird in der Tabelle 3.2 dargestellt und beträgt ca. 15 s.

3 Anlage mit Knickarmroboter

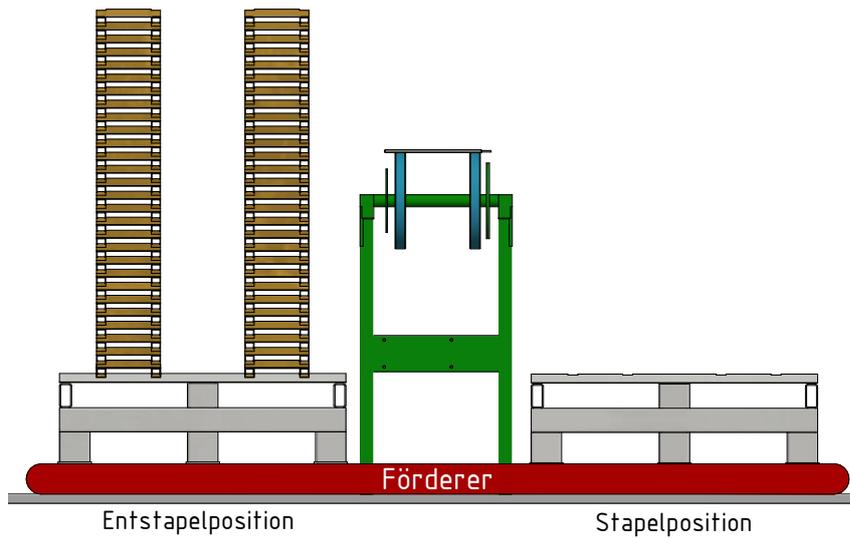


Abbildung 3.2: Stillstandszeit - Variante 2, Quelle: Eigene Darstellung.

Sekunden	1 min >						2 min >						
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
1	Rechts: Sicherheitszaun öffnen	■											
2	Rechts: Volle Palette mit Hubwagen aufnehmen	■	■										
3	Rechts: Volle Palette transportieren und abstellen			■	■	■							
4	Rechts: Sicherheitszaun schließen und quittieren			■									
5	Automatischer Palettentransport				■								
6	mit Hubwagen zur Anlage zurückkehren					■	■						
7	Neue Palette mit Hubwagen aufnehmen						■						
8	Links: Sicherheitszaun öffnen							■					
9	Links: Neue Palette transportieren und abstellen								■	■			
10	Links: Hubwagen zurückfahren und abstellen										■		
11	Links: Sicherheitszaun schließen und quittieren											■	15 s

Tabelle 3.2: Stillstandszeit - Variante 2, Quelle: Eigene Darstellung.

3.1.3 Variante 3 - Zwei Pufferplätze und automatischer Palettentransport

Nach weiteren Überlegungen wurde klar, dass eine akzeptable Stillstandszeit nur durch das Hinzufügen von zusätzlichen Stellplätzen, welche als Puffer dienen, erreichbar ist (siehe Abbildung 3.3).

3 Anlage mit Knickarmroboter

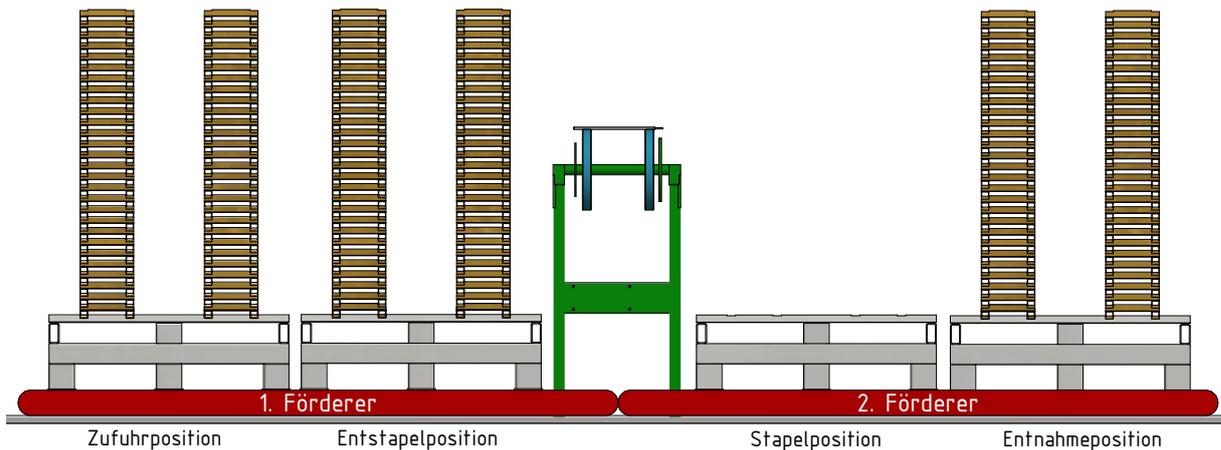


Abbildung 3.3: Stillstandszeit - Variante 3, Quelle: Eigene Darstellung.

Durch die zusätzlichen Stellplätze reduziert sich die Stillstandszeit auf ca. 6 s (siehe Tabelle 3.3). Diese Einsparung erfolgt dadurch, dass sowohl die Zufuhr, der mit leeren Trockenrahmen befüllten Palette, als auch der Abtransport der vollen Palette, während dem Betrieb stattfinden kann. Ein Stillstand ist nur während dem Weitertransport der Paletten von der Entstapelposition in die Stapelposition erforderlich. Durch diesen Aufbau hat der Mitarbeiter, auch bei höchster Anlagengeschwindigkeit, mindestens 10 Minuten Zeit, die Palette aus der Entnahmeposition zu entfernen und eine neue Palette an der Zufuhrposition zuzuführen.

		Sekunden									
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	
1	Roboter - Stapeln	■									
2	Kettenförderer transportiert die Paletten weiter	■	■	■	■	■					
3	Roboter - Fahrt in Entstapelposition	■	■								
4	Roboter - Entstapeln					■					
5	Roboter - Reinigung						■	■			
6	Roboter - Abheben der Elektroden							■			
7	Roboter - Fahrt in Stapelposition								■	■	
8	Roboter - Stapeln										■
5	Wechselzeit (entspricht Wartezeit des Roboters)			6 Sekunden							

Tabelle 3.3: Stillstandszeit - Variante 3, Quelle: Eigene Darstellung.

3.1.4 Variante 4 - Leerrahmenpuffer, zwei Pufferplätze und automatischer Palettentransport

Durch das Hinzufügen eines weiteren Pufferplatzes unter dem Zufuhrband für eine leere Palette kann die Stillstandszeit komplett eliminiert werden. Abbildung 3.4 zeigt den prinzipiellen Aufbau dieser Variante.

Der Knickarmroboter kann durch die zusätzliche Pufferpalette während dem automatischen Weitertransport der Paletten normal weiterarbeiten. Während dem Weitertransport der Palette an der Stapelseite, bewegt sich die Palette an der Entstapelseite nicht und es kann normal entstapelt werden. Umgekehrt bewegt sich die Palette an der Stapelposition nicht, während dem Weitertransport der Palette an der Entstapelposition in die Pufferposition. In diesem Fall kann der

3 Anlage mit Knickarmroboter

Roboter die Trockenrahmen während dem automatischen Weitertransport der Paletten stapeln. Der Vorgang des Weitertransports ist noch bevor der Roboter zur Entstapelposition zurückkehrt abgeschlossen.

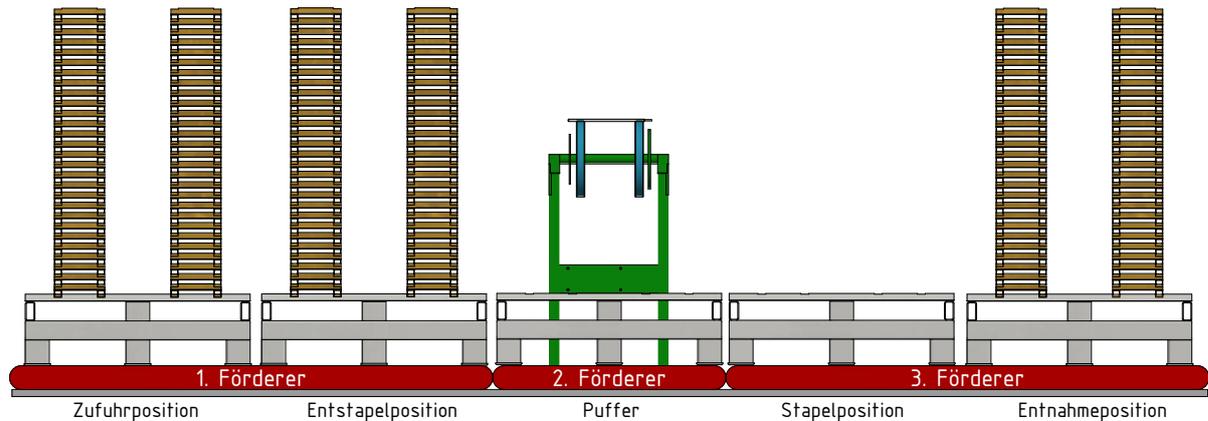


Abbildung 3.4: Stillstandszeit - Variante 4, Quelle: Eigene Darstellung.

Stillstandszeiten können trotzdem nur verhindert werden, indem sichergestellt wird, dass die Palette an der Stapelseite nie zeitgleich mit der Palette an der Entstapelseite befördert wird. Es muss deshalb gewährleistet werden, dass die Palette an der Stapelseite nicht in dem Moment voll ist, in dem keine Rahmen mehr an der Entstapelseite vorhanden sind.

Die einfachste Möglichkeit diese Anforderung zu erfüllen ist, bei der Erstbelegung der Anlage mit Paletten und Trockenrahmen an der Entstapelseite eine Palette mit 48 anstatt der regulären 56 Stück zuzuführen. Die Stapelhöhe an der Stapelseite beträgt trotzdem 56 Stück. Dadurch wird zuerst die Palette an der Entstapelposition leer. Diese wird in den mittleren Zwischenpuffer gebracht während eine neue, volle Palette in die Entstapelposition befördert wird. Die Produktion kann während diesem gesamten Vorgang unterbrechungsfrei weiterlaufen.

Nach dem Stapeln von 6 weiteren Rahmen ist die Palette der Stapelposition voll belegt und wird in die Entnahmeposition weitertransportiert. Zeitgleich wird die zuvor in dem mittleren Puffer positionierte Leerpalette in die Stapelposition weitertransportiert und die Produktion kann ohne Stillstand fortgesetzt werden.

Die Förderer für die Paletten müssen dafür getrennt werden. Der erste Förderer für die Zufuhrposition und Entstapelposition, ein weiterer für die Pufferpalette unter dem Zufuhrband und einer für die Stapelposition und Entnahmeposition. Der Weitertransport der Paletten darf 8 s dauern. Nach Rücksprache mit einem Hersteller von Kettenförderern kann dieser Wert eingehalten werden. Der Ablauf ist in Tabelle 3.4 dargestellt.

3 Anlage mit Knickarmroboter

		Sekunden	2	4	6	8	10	12
Volle Stapelseite	1	Roboter - Stapeln	█					
	2	Kettenförderer bewegt Stapel-Seite	█	█	█	█	█	
	3	Kettenförderer bewegt Puffer-Palette	█	█	█	█	█	
	4	Roboter - Fahrt in Entstapelposition	█	█				
	5	Roboter - Entstapeln		█				
	6	Roboter - Reinigung			█	█		
	7	Roboter - Abheben der Elektroden				█	█	
	8	Roboter - Fahrt in Stapelposition					█	█
	9	Roboter - Stapeln						█
		Wechselzeitreserve = 1 Sekunde						█
Leere Entstapelseite	1	Roboter - Entstapeln	█					
	2	Kettenförderer bewegt Entstapel-Seite	█	█	█	█	█	
	3	Kettenförder bewegt leere Puffer-Position	█	█	█	█	█	
	4	Roboter - Reinigung	█	█				
	5	Roboter - Abheben der Elektroden			█			
	6	Roboter - Fahrt in Stapelposition			█	█		
	7	Roboter - Stapeln					█	
	8	Roboter - Fahrt in Entstapelposition					█	█
	9	Roboter - Entstapeln						█
		Wechselzeitreserve = 1 Sekunde						█

Tabelle 3.4: Stillstandszeit - Variante 4, Quelle: Eigene Darstellung.

3.2 Ablaufplan

In den Tabellen 3.5 und 3.6 ist der Ablauf der wichtigsten Anlagenzustände während der Produktion dargestellt. In den Spalten sind die einzelnen Paletten-Positionen der Anlage und die Belegung dieser Paletten mit Trockenrahmen dargestellt. Blaue Felder kennzeichnen leere Palettenplätze ohne Palette und Trockenrahmen. Die Beschriftung 0-56 mit der Farbskala Gelb (0) bis Grün (56) visualisiert die Anzahl der Trockenrahmen auf der jeweiligen Palette. Der zeitliche Ablauf ergibt sich durch die Zeilen von oben nach unten. Notwendige manuelle Eingriffe sind rot gekennzeichnet.

Bei der Erstinbetriebnahme bzw. bei noch leerer Anlage wird der Benutzer durch Hinweise am Bedienpanel der Anlage unterstützt. Er führt die Paletten, mit der am Display vorgegebenen Belegung der Anlage zu. Die Paletten werden dabei automatisch in die richtige Position transportiert.

Durch den asynchronen Ablauf, aufgrund des Befüllens mit einer nicht voll belegten Palette zum Beginn der Inbetriebnahme, kann die Anlage, wie in Kapitel 3.1.4 erklärt, unterbrechungsfrei arbeiten.

Bei der Umstellung der Produktion dieser Presslinie auf eine andere Elektrodenqualität (Masseechsel) wird die gesamte Presslinie angehalten, gereinigt und umgebaut. Auf einer Palette dürfen sich keine Trockenrahmen mit unterschiedlichen Elektrodenqualitäten befinden. Deshalb wird bei einem Masseechsel auch eine, noch nicht voll belegte, Palette aus der Anlage entnommen.

3 Anlage mit Knickarmroboter

Wenn sich zum Zeitpunkt des Massewechsels an der Stapelposition mehr Trockenrahmen befinden als an der Entstapelposition, sind keine weiteren Eingriffe des Mitarbeiters notwendig und die Produktion läuft auch nach der Entnahme der Palette problemlos weiter.

Sind zum Zeitpunkt des Massewechsels an der Stapelposition weniger Trockenrahmen als an der Entstapelposition vorhanden, so befindet sich keine leere Palette in der Puffer-Position. Nach dem Entnehmen der fertigen Palette kann somit keine leere Palette automatisch in die Stapelposition transportiert werden. Der Mitarbeiter erhält deshalb die Aufforderung auf dem Bedienpanel der Anlage, eine leere Palette an der Stapelposition händisch zuzuführen. Da die Anlage während dem Massewechsel ohnehin stillsteht, senkt dieser manuelle Eingriff nicht die Produktivität.

Der Sonderfall 1 geht ebenfalls darauf zurück, dass an der Stapelseite weniger Trockenrahmen vorhanden sind als an der Entstapelseite. Auch in diesem Fall muss der Mitarbeiter der Anlage eine leere Palette händisch zuführen.

Im Sonderfall 2 findet genau zu dem Zeitpunkt ein Massewechsel statt, bei dem an der Entstapelseite keine weiteren Trockenrahmen verfügbar sind. Da sich nach dem automatischen Weitertransport der leeren Palette in die Stapelposition, an der Entstapelseite eine voll befüllte befindet, ist der asynchrone Ablauf nicht mehr gewährleistet. Die Anlage erkennt diesen Sonderfall und startet ein Programm welches 4 Stück Trockenrahmen von der Entstapelseite zur Stapelseite befördert. Der Mitarbeiter wird danach aufgefordert diese 4 leeren Trockenrahmen aus der Anlage zu entfernen. Da auch dieser Sonderfall nur bei einem Massewechsel auftritt, resultiert diese Maßnahme in keinen zusätzlichen Stillstandszeiten.

Die Forderung einer kontinuierlichen Produktion ist, durch diese Variante 4 und der Berücksichtigung der Sonderfälle während den Massewechsel, somit durchwegs gegeben.

	Palettenposition					L ... Leer/Keine Palette	0-56 ... Anzahl an Trockenrahmen auf der Palette
	Zufuhr	Entstapeln	Mitte	Stapeln	Entnahme		
Erstmalsiges Befüllen der Anlage	L	L	L	L	L		Ausgangssituation - Gesamte Anlage leer
	0	L	L	L	L		Zufuhr einer leeren Palette
	L	0	L	L	L		Weitertransport ohne Zufuhr einer Palette
	48	L	0	L	L		Zufuhr einer weniger belegten Palette (48 statt 56 Stück)
	56	48	L	0	L		Zufuhr einer vollen Palette
	56	44	L	4	L		Anlage beginnt zu arbeiten
Entstapelposition ist leer	56	0	L	48	L		Die Entstapelseite ist schneller leer als die Stapelseite voll ist
	L	56	0	48	L		Weitertransport der leeren Palette in die mittige Pufferposition
	56	54	0	50	L		Zufuhr einer vollen Palette während Anlage arbeitet
Stapelposition ist voll	56	48	0	56	L		Rechte Seite ist voll
	56	48	L	0	56		Automatischer Weitertransport der vollen Palette und der leeren Puffer-Palette
	56	44	L	4	L		Anlage arbeitet normal weiter
Massewechsel nachdem Entstapelposition leer war	56	0	L	48	L		Entstapelseite ist leer
	L	56	0	48	L		Die leere Palette wird in die Pufferposition weitertransportiert.
	56	50	0	54	L		Es erfolgt ein Massewechsel (Stapeln wird trotz noch nicht voll belegter Stapelpalette abgebrochen)
	56	50	L	0	54		Puffer-Palette wird weitertransportiert und nicht voll belegte Stapelpalette wird entnommen
	56	46	L	4	L		Anlage kann wieder produzieren
	56	0	L	50	L		Entstapelseite ist leer
	L	56	0	50	L		Paletten werden weitertransportiert
56	52	0	54	L		Anlage arbeitet normal weiter	

Tabelle 3.5: Ablaufplan - Palettenbelegung 1, Quelle: Eigene Darstellung.

3 Anlage mit Knickarmroboter

	Palettenposition					L ... Leer/Keine Palette	0-56 ... Anzahl an Trockenrahmen auf der Palette
	Zufuhr	Entstapeln	Mitte	Stapeln	Entnahme		
Massewechsel nachdem Stapelposition voll war	56	48	0	30	L	Es wird normal produziert	
	56	22	0	56	L	Stapelseite ist voll	
	56	22	L	0	56	Fertige Palette wird in die Entnahmeposition transportiert und Puffer-Palette wird weitertransportiert	
	56	14	L	8	L	Es wird weiterproduziert und anschließend erfolgt ein Massewechsel	
	56	14	L	L	6	Fertige Palette wird in Entnahmeposition gebracht	
	56	14	L	0	L	Keine Puffer-Palette vorhanden -> Leere Palette muss manuell zugeführt werden	
	56	10	L	4	L	Es wird normal produziert	
	56	0	L	14	L	Entstapelseite ist leer	
	L	56	0	14	L	Paletten werden automatisch weitertransportiert	
	56	14	0	56	L	Stapelseite ist voll	
	56	14	L	0	56	Paletten werden automatisch weitertransportiert	
	56	10	L	4	L	Es wird normal produziert	
Sonderfall 1	56	48	L	0	L	Es wird direkt bei Erstbelegung weniger als 1 Palette produziert	
	56	8	L	40	L	Massewechsel	
	56	8	L	L	40	Paletten werden weitertransportiert	
	56	8	L	0	L	Keine Puffer-Palette vorhanden -> Leere Palette muss manuell zugeführt werden	
Sonderfall 2	56	0	L	50	L	Massewechsel und leere Palette an der Entstapelseite treten zufällig zeitgleich auf	
	L	56	0	L	50	Die fertige Palette wird in die Entnahmeposition gebracht	
	56	56	L	0	L	Die Puffer-Palette wird weitertransportiert. Der Betrieb erfolgt nicht mehr asynchron.	
	56	52	L	0	L	Anlage stapelt 4 Rahmen direkt in die Stapelposition welche der Mitarbeiter entnehmen muss.	

Tabelle 3.6: Ablaufplan - Palettenbelegung 2, Quelle: Eigene Darstellung.

3.3 Anlagenübersicht

Nur die Variante 4 - ‘Leerrahmenpuffer, zwei Pufferplätze und automatischer Palettentransport’ ermöglicht eine Automation ohne Stillstandszeiten während den Palettenwechsel. Aus diesem Grund fiel die Entscheidung auf diese Variante. Dieses Kapitel und Abbildung 3.6 geben einen Überblick über die Anlage.

Um die Sicherheit der Mitarbeiter im Umkreis des Knickarmroboters gewährleisten zu können, wird der gesamte Bereich mit einem Sicherheitszaun als trennende Schutz Einrichtung eingehaust. Zwei Schiebetüren mit elektromechanischen Sicherheitsschaltern mit Zuhalter ermöglichen den Mitarbeitern die Zu- und Abfuhr der Paletten.

Palettenzufuhr: Die Palette, mit zwei Stapel zu je 28 Stück unbefüllte Trockenrahmen, wird an Position A von einem Mitarbeiter der Anlage zugeführt. Bevor der Mitarbeiter den Sicherheitsbereich innerhalb der Anlage betreten darf, muss dieser über einen Taster den Zutritt zur Anlage anfordern. Es wird dafür ein Rolltor, welches den Zufuhrbereich vom Roboter-Arbeitsbereich abtrennt, geschlossen. Nach dem Schließen wird die Schiebetür für den Zugang freigegeben und der Mitarbeiter kann, mit Hilfe eines Hubwagens, die Palette auf dem Kettenförderer abstellen. Die Positionierung erfolgt dabei durch einen rückseitigen Anschlag. Nachdem der Mitarbeiter die Anlage verlassen und die Sicherheitstür geschlossen hat, muss dieser über einen Taster bestätigen, dass sich innerhalb der Anlage keine Person aufhält und diese sicher in Betrieb genommen werden kann. Dadurch fährt das Rolltor innerhalb der Anlage hoch und verbleibt im Normalbetrieb im hochgefahrenen Zustand. Die Anlage arbeitet, sowohl während der Zufuhr als auch während der Entnahme einer Palette, unterbrechungsfrei weiter. Das geschlossene Rolltor verhindert bei einer Fehlfunktion der Anlage, dass Teile aus der Roboterzelle in die, vom Mitarbeiter betretene, Zufuhr- bzw. Entnahmeposition gelangen. Um den Mitarbeiter an eine notwendige Palettenzufuhr zu erinnern, ertönt die letzten drei Minuten bevor der letzte Trockenrahmen entstapelt wird, jede Minute ein Warnsignal. Zudem wird eine Signallampe aktiviert.

Palettenabtransport: Sobald eine Palette voll befüllt ist oder ein Massewechsel durchgeführt wird, wird die Palette automatisch in die Entnahmeposition transportiert. Danach hat der Mitarbeiter, je nach momentaner Anlagengeschwindigkeit, mindestens 10 Minuten Zeit die befüllte Palette aus der Anlage zu entfernen (Position D). Dabei muss er, wie bei der Zufuhr einer Palette, zuerst den Zutritt zur Anlage über einen Taster anfordern. Das Rolltor schließt sich und die Verriegelung der Schiebetür wird gelöst. Nachdem der Mitarbeiter die befüllte Palette mit einem Hubwagen aus der Anlage entnommen hat, muss er den Sicherheitszaun schließen und die Sicherheit der Anlage über einen Taster quittieren damit das Rolltor sich wieder öffnet. Damit der Mitarbeiter nicht auf den Abtransport der Palette innerhalb des Zeitfensters vergisst, ertönt drei, zwei und eine Minute vor der vollständigen Befüllung der Palette in der Stapelposition ein Warnsignal. Zusätzlich weißt eine Signallampe auf die notwendige Palettenentnahme hin.

Palettenweitertransport: Sofern die Sicherheitstüren der Anlage geschlossen und die Rolltore somit geöffnet sind, werden die Paletten innerhalb der Anlage automatisch weitertransportiert. Der Weitertransport erfolgt dabei mit Hilfe von drei Kettenförderern in Richtung von Pfeil B (Abbildung 3.6).

Die Positionierung in Transportrichtung auf den Kettenförderern, erfolgt dabei mit Hilfe von pneumatischen Stopperzylindern. Diese dienen als Anschläge für die Paletten. Abbildung 3.5 zeigt den verwendeten Stopperzylinder der Firma Festo. Die Ausrichtung der Paletten, und der darauf gestapelten Trockenrahmen, ist aufgrund deren Fertigungstoleranzen jedoch nicht exakt. Deshalb wird die Position der Trockenrahmen während der Greifer-Anfahrt zusätzlich mittels Sensoren vermessen (siehe dazu Kapitel 4).

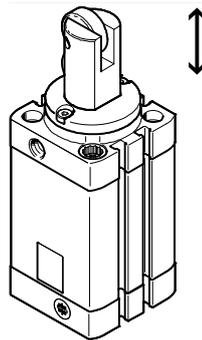


Abbildung 3.5: Stopperzylinder von Festo, Quelle: Festo - Katalog Stopperzylinder DFSP (2016), Onlinequelle [16.07.2016].

Elektrodenzufuhr: Die Zufuhr der Stabelektroden erfolgt über das Zufuhrband in Gruppen von ca. 700mm Länge und ca. 100mm Abstand zueinander. Die Elektroden bewegen sich dabei in Richtung des Pfeils C der Abbildung 3.6.

Entstapeln, Reinigen, Aufnehmen der Elektroden und Stapeln: Der Knickarmroboter verfährt in die Entstapelposition, links neben das Zufuhrband und der Greifer klemmt einen Trockenrahmen. Dieser wird vom Stapel abgehoben und zur Reinigung befördert. Dort wird die Oberkante der Trockenrahmen, mit Hilfe einer rotierenden Walzenbürste, von Staub befreit. Der Greifer fährt mit dem geklemmten Trockenrahmen zwischen dem Förderband hoch und hebt damit die Elektroden vom Zufuhrband ab. Der nun befüllte Trockenrahmen wird an der Stapelseite, der rechten Seite des Zufuhrbandes, gestapelt. Danach beginnt der nächste Zyklus, wobei alternierend links und rechts ent- bzw. gestapelt wird. Bei Entstapeln vom linken der beiden Stapeln wird auch in der Stapelposition auf den linken Stapel gestapelt. Das gilt ebenso für den rechten

Stapel. Die Palette muss deshalb auf beiden Stapeln gleich belegt sein, damit der Schwerpunkt in der Nähe des Palettenmittelpunktes bleibt. Dadurch kann die Palette jederzeit, ohne die Gefahr des Kippens, mit einem Hubwagen aus der Anlage entnommen werden.

Kapitel 3.4 enthält in einer Bewegungsstudie weitere Informationen über den Ablauf.

Warteposition: Die geforderte, minimale Zykluszeit bietet Reserven zur realen, benötigten Zykluszeit im aktuellen Produktionsprozess. Außerdem treten im vorgelagerten Produktionsprozess, prozessbedingte kurze Stillstände auf. Der Greifer verweilt deshalb nach der Reinigung zwischen dem Zufuhrband knapp unterhalb dessen Oberkante. Sobald, ein Sensor die richtige Position der Elektroden über dem Trockenrahmen signalisiert, verfährt der Greifer mit dem Trockenrahmen aufwärts und hebt die Elektroden ab.

Stapeln von Zwischenlagen: Wie eingangs im Kapitel 1.9 erwähnt, ist es manchmal erforderlich zwischen jeden befüllten Rahmen, einen leeren Rahmen zu stapeln. Der Greifer ist in der Lage zwei Trockenrahmen gleichzeitig aufzunehmen. Der untere der beiden geklemmten Trockenrahmen bleibt dabei beim Abheben der Elektroden leer. Nach dem Stapeln ergeben sich somit die geforderten Zwischenlagen.

3 Anlage mit Knickarmroboter

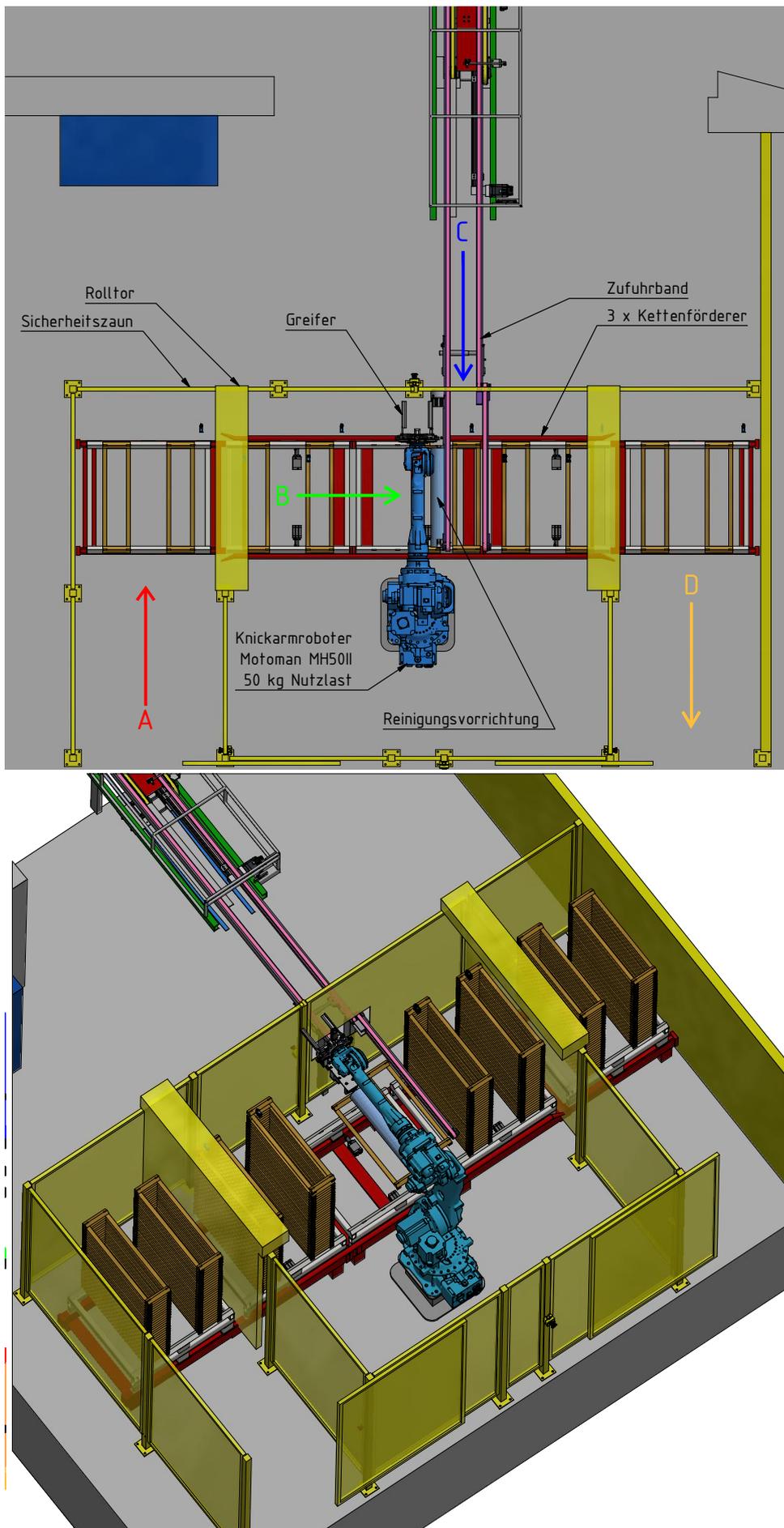


Abbildung 3.6: Anlagenkonzept - Übersicht, Quelle: Eigene Darstellung.

3.4 Bewegungsstudie

Zur Abschätzung der Zykluszeit wird eine Bewegungsstudie erstellt und die Dauer der einzelnen Phasen in einer Tabelle (Tabelle 3.7) aufgelistet. In der Abbildung 3.8 wird der Verfahrensweg mit dessen Geschwindigkeiten dargestellt. Die Koordinatenpositionen repräsentieren dabei den Ursprung des Koordinatensystems des Greifers (Abbildung 3.7). Die einzelnen Positionen werden durch Zahlen von 1 bis 12 gekennzeichnet. Im Aufriss werden in den Klammern zusätzlich die x- sowie z-Koordinaten angegeben. Die y-Koordinaten sind aus dem Grundriss abzulesen.

Der Bewegungsablauf ist in der Darstellung noch nicht optimiert. Der Verfahrensweg zwischen einigen Punkten kann, um Zykluszeit einzusparen, noch überschiffen werden. Dabei wird ein Punkt nicht direkt angefahren, sondern bei Erreichen einer Raumkugel mit bestimmtem Radius um diesen Punkt, ohne Abzubremsen, zum nächsten Punkt verfahren. Die Geschwindigkeit ist nur in 3 Stufen (1 = langsam, 2 = mittel, 3 = maximale Geschwindigkeit) eingeteilt und dient lediglich als Anhaltspunkt für die Programmierung des Knickarmroboters.

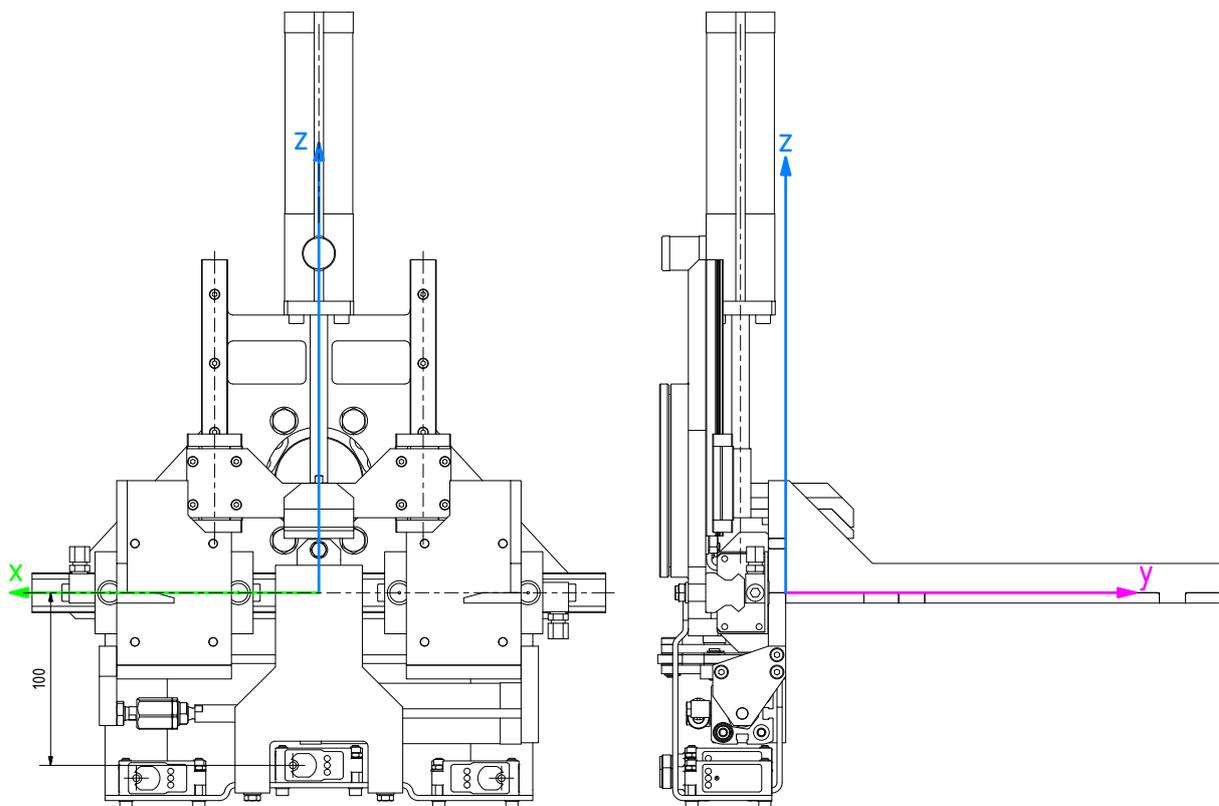


Abbildung 3.7: Greifer-Koordinatensystem, Quelle: Eigene Darstellung.

Beim Ein- und Ausfahren des Greifers wird die Geschwindigkeit reduziert. In diesen Phasen sind Kollisionen durch eine ungenaue oder fehlerhafte Positionierung der Trockenrahmen sowie des Greifers am ehesten zu befürchten. Für das Öffnen sowie Schließen des Greifers stehen 1,2s zur Verfügung. Anschließend wird der geklemmte Trockenrahmen abgehoben, in die Reinigungsposition verfahren und die Bürste der Reinigungsvorrichtung eingeschaltet. Es müssen nur die Auflageflächen des Trockenrahmens gereinigt werden. Deshalb wird beim Durchfahren der Reinigungsvorrichtung die Verfahrensgeschwindigkeit reduziert, sobald die seitlichen Längsprofile die Bürste berühren. Nach der Reinigung fährt der Greifer mit dem Trockenrahmen zwischen

3 Anlage mit Knickarmroboter

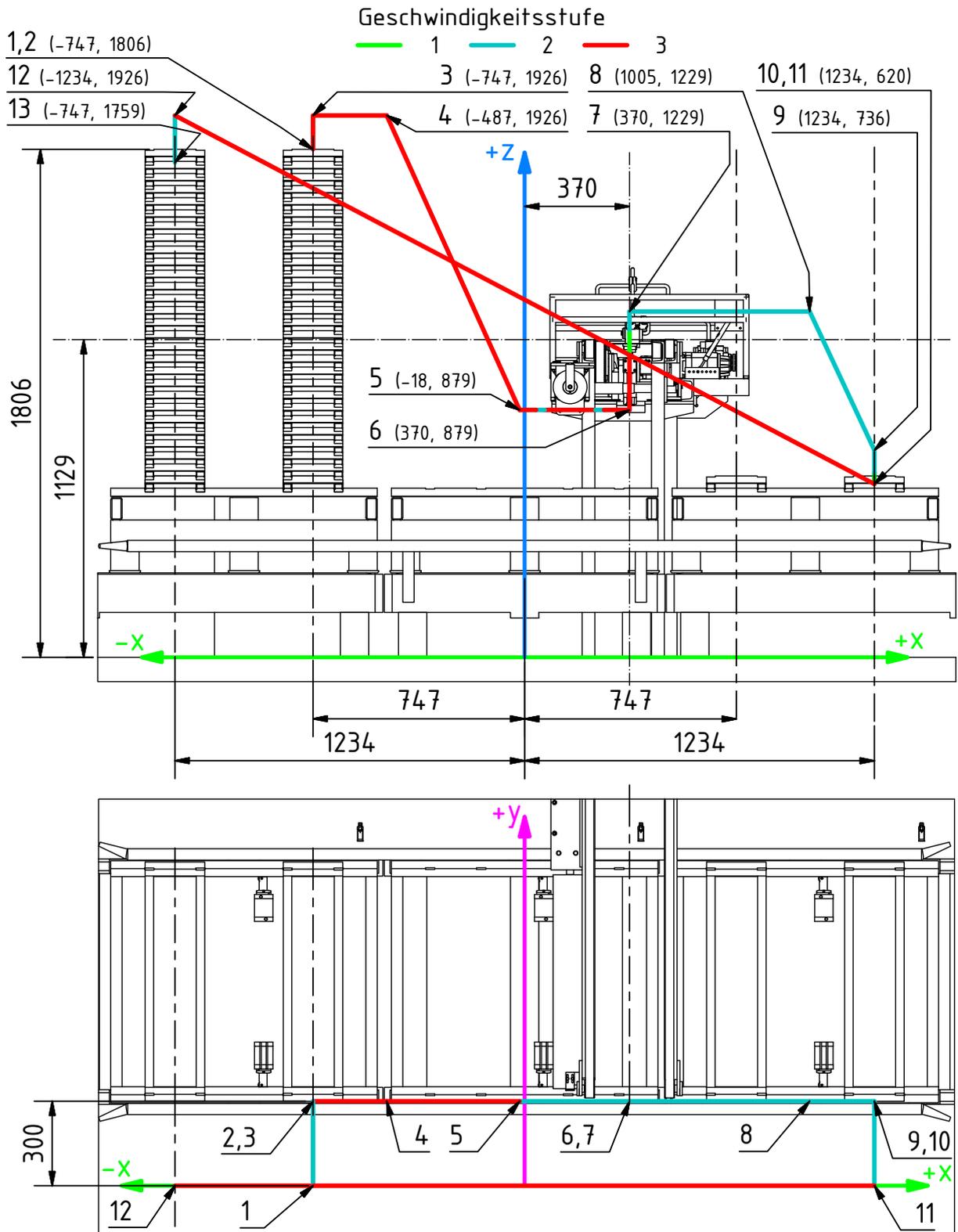


Abbildung 3.8: Bewegungsstudie, Quelle: Eigene Darstellung.

3 Anlage mit Knickarmroboter

Position/Weg	Geschwindigkeit	Zeit am Ende des Vorgangs	Beschreibung
1→2	2	0,6	Einfahren mit Greifer
2		1,8	Schließen des Greifers und Klemmen des Rahmens
2→3	3	2	Abheben des Trockenrahmens
3→4	3	2,2	Neben den Stapel verfahren
4→5	3	2,8	In Reinigungsposition verfahren
5→6	2,3	3,6	Durch Reinigungsvorrichtung fahren Die Geschwindigkeit wird jeweils beim Durchfahren mit den beiden seitlichen Formrohren gedrosselt
6→7	3	3,8	Zwischen dem Förderband hochfahren und unter der Förderband-Oberkante warten bis die Elektrodengruppe die richtige Position zum Abheben erreicht.
	1	4,6	Abheben der Elektroden vom Förderband
	2	4,8	Aufwärts verfahren
7→8	2	5,6	Seitlich verfahren
8→9	2	6,4	Schräg in Richtung der Stapelposition verfahren
9→10	2	6,8	Vertikal nach unten verfahren
	1	7,4	30 mm vor dem Ablegen wird langsamer verfahren
10		8,6	Öffnen des Greifers
10→11	2	9,2	Greifer nach hinten wegbewegen
11→12	3	10	Über nächste Entstapelposition verfahren
12→13	2	11	Greifer abwärts fahren und vertikal sowie horizontal positionieren

1 s→	2 s→	3 s→	4 s→	5 s→	6 s→	7 s→	8 s→	9 s→	10 s→	11 s→

Tabelle 3.7: Bewegungsstudie - Zeitlicher Ablauf, Quelle: Eigene Darstellung.

dem Zufuhrband hoch und wartet knapp unterhalb der Förderband-Oberkante. Tritt im Produktionsprozess vor der Rahmenstapelungsanlage ein Fehler auf oder die Produktionsgeschwindigkeit erfordert nicht die niedrigste Zykluszeit der Anlage, befindet sich die Warteposition der Anlage ebenfalls in dieser Stellung.

Sobald ein Sensor die richtige Position der Elektrodengruppe über dem Trockenrahmen signalisiert, wird mit langsamer Geschwindigkeit nach oben verfahren und dadurch die Elektroden abgehoben. Da sich nun Elektroden auf dem Trockenrahmen befinden, darf nicht mehr mit voller Geschwindigkeit gefahren werden um ein Rutschen der Elektroden zu verhindern. Bewegungen/Beschleunigungen in y-Richtung sind nicht notwendig. Dadurch wird das Rollen der Elektroden großteils verhindert. Nach dem Verfahren in eine Position kurz vor der Ablage des Trockenrahmens wird die Geschwindigkeit weiter reduziert um das Auflegen des Trockenrahmens zu erleichtern. Der Greifer wird geöffnet und nach hinten in negative y-Richtung ausgefahren. Danach fährt der Greifer, mit einem Sicherheitsabstand in vertikaler Richtung, in die nächste Entstapelposition. Während der Abwärtsfahrt in die Entstapelposition wird der Greifer horizontal ausgerichtet. Ein weiterer Sensor am Greifer ermittelt die exakte Position in z-Richtung des nächsten zu greifenden Trockenrahmens. Sobald der Greifer an der Einfahrposition (13) angekommen ist, beginnt der nächste Zyklus. Der beschriebene Ablauf ist mit Zeitangaben in Tabelle 3.7 ersichtlich. Am unteren Ende der Tabelle sind die einzelnen Phasen des Zyklus' mit deren farblich gekennzeichneten Geschwindigkeiten in einem Zeitstrahl dargestellt.

4 Greifer

Im Zuge eines Brainstormings wurden unterschiedliche Greifervarianten skizziert. In einer Diskussionsrunde mit Konstrukteuren, dem Leiter der Instandhaltung sowie dem Produktionsleiter der vaBWA wurden als ungeeignet empfundene Lösungen ausgeschieden. Die näher behandelten Konzepte werden in diesem Kapitel vorgestellt.

4.1 Anforderungen an den Greifer

An den Greifer werden folgende Anforderungen gestellt:

- Aufnehmen von einem oder zwei Trockenrahmen (für das Stapeln von Zwischenlagen);
- Sicheres Halten der Trockenrahmen mit den Elektroden;
- Exaktes Positionieren der Trockenrahmen (vertikal sowie horizontal);
- Das Greifen und Ablegen der Trockenrahmen muss auch bei einer ungenauen Positionierung von min. ± 1 mm in jede Raumrichtung möglich sein;
- Maximale Spanndauer (Schließen des Greifers): 1,2 s;
- Maximale Entspanndauer (Öffnen des Greifers): 1,2 s;
- Die maximale Breite des Greifers im geschlossenen Zustand an der Position an der die Trockenrahmen geklemmt werden, darf 225 mm nicht überschreiten. Ansonsten kann der Greifer nicht zwischen dem Förderband hochgefahren werden;
- Die Trockenrahmen dürfen nur einseitig gegriffen werden. Da die Elektroden auf einem Förderband zugeführt werden, kollidiert der Greifer ansonsten mit den Elektroden;
- Durch das Verzögern bedingte Beschleunigungen von $a_{max} = 5 \text{ m/s}^2$ müssen zusätzlich zur Erdbeschleunigung sicher ertragen werden.

Manipulationsmasse:

- Gewicht eines Trockenrahmens m_R : 2,5 kg;
- Maximal, auf einen Trockenrahmen, abgelegtes Elektrodengewicht m_E : 12,13 kg (Dieser Wert wurde aus den Produktionsdaten ermittelt);
- Maximal zu manipulierende Masse: $m_{Ges} = 2 \cdot m_R + m_E = 17,13 \text{ kg}$.

Im Regelbetrieb beträgt der Pneumatikdruck der vaBWA annähernd 6 bar. Damit eventuelle temporäre Druckschwankungen die Funktionsfähigkeit nicht beeinträchtigen, wird mit einem zur Verfügung stehenden Pneumatikdruck von $p_{Nenn} = 5,7 \text{ bar}$ gerechnet.

4.2 Konzept 1 - Klemmen am Winkelprofil

Bei diesem Konzept wird mit einem kurzen Blech, als Gegenstück für die Klemmung, unter das Winkelprofil des Trockenrahmens eingefahren. Eine pneumatisch betätigte Klemme, drückt

den Trockenrahmen gegen dieses Blech. Das Moment, welches durch die Beschleunigungen und die Masse der Trockenrahmen sowie der Elektroden erzeugt wird, wird vom Winkelprofil aufgenommen. Das Konzept ist in Abbildung 4.1 dargestellt. Die eingezeichneten Kräfte beziehen sich dabei auf das Winkelprofil.

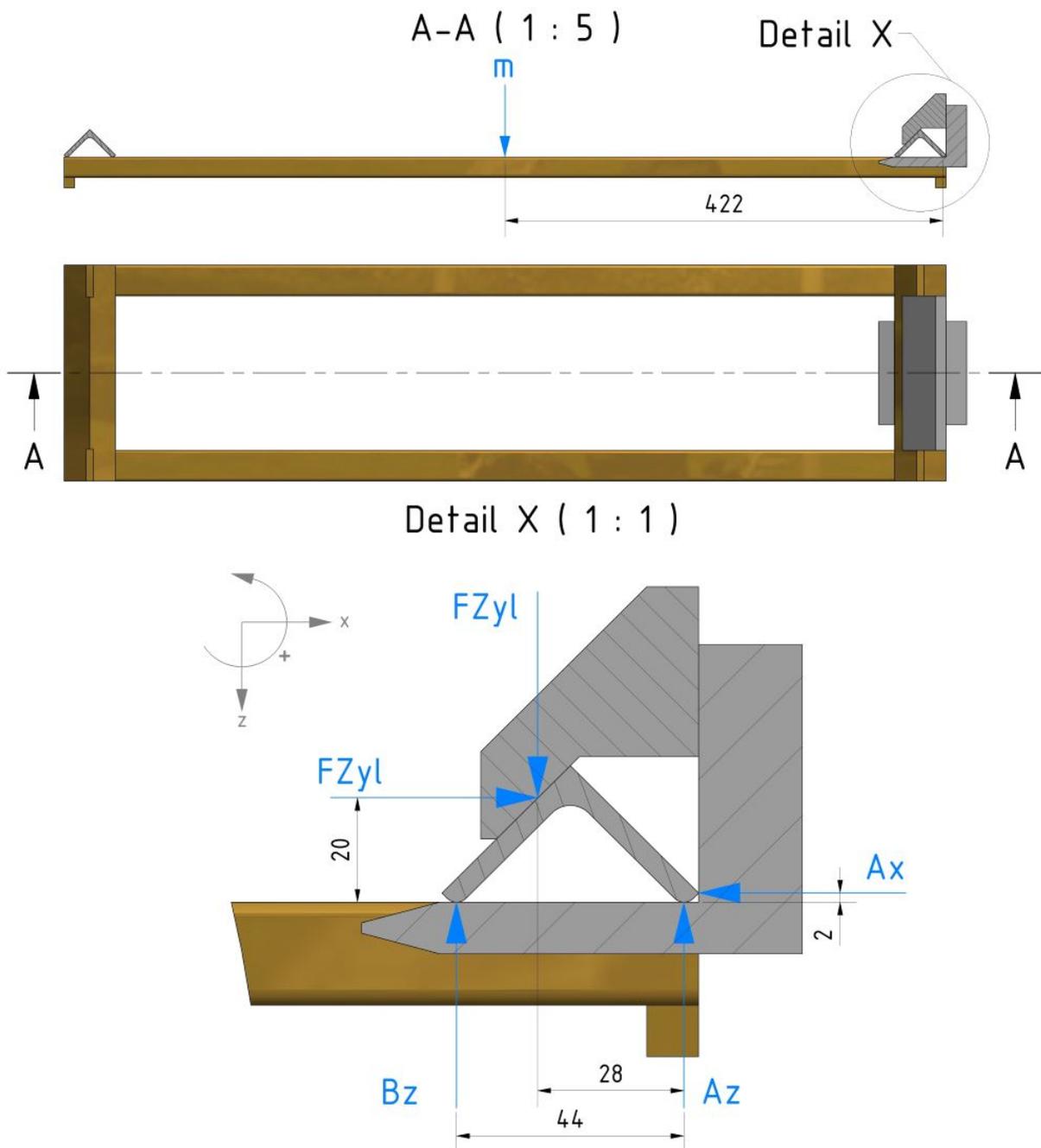


Abbildung 4.1: Konzept 1 - Klemmen am Winkelprofil - Skizze, Quelle: Eigene Darstellung.

Ermittlung der Kräfte und Berechnung des Kolbendurchmessers

Folgende Vereinfachungen und Annahmen werden für die Auslegung getroffen:

- Für die Vorauslegung werden die Abmessungen und die Geometrie der Aufnahme beim Klemmen eines einzelnen Trockenrahmens verwendet;

- Es werden die Massen für zwei Trockenrahmen und maximaler Elektrodenbelegung berücksichtigt;
- Der Schwerpunkt von Trockenrahmen und Elektroden liegt im Schwerpunkt des Trockenrahmens;
- Die Zylinderkraft wirkt im geometrischen Schwerpunkt der Kontaktfläche;
- Die Auslegung erfolgt statisch;
- Reibungskräfte werden nicht berücksichtigt;
- Die Berücksichtigung der Beschleunigungen erfolgt durch die Addition der maximal auftretenden Beschleunigung in vertikaler Richtung a_{max} zur Erdbeschleunigung g .

Anhand der Abbildung 4.1 werden die Kräfte- und Momentengleichgewichte gebildet (Gleichung 4.1 bis 4.3)

$$\sum F_x = 0 = F_{Zyl} - A_x \quad (4.1)$$

$$\sum F_z = 0 = F_{Zyl} + m_{Ges} \cdot (g + a_{max}) - A_z - B_z \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} \sum M_A &= 0 \\ &= m_{Ges} \cdot (g + a_{max}) \cdot 422 - F_{Zyl} \cdot (20 - 2) + F_{Zyl} \cdot 28 - B_z \cdot 44 \end{aligned} \quad (4.3)$$

Daraus ergeben sich die nachfolgenden Gleichungen für die Kräfte A_z und B_z .

$$\begin{aligned} A_z &= F_{Zyl} + m_{Ges} \cdot (g + a_{max}) - B_z \\ &= F_{Zyl} \cdot \frac{34}{44} - m_{Ges} \cdot (g + a_{max}) \cdot \frac{378}{44} \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$B_z = \frac{F_{Zyl} \cdot 10 + m_{Ges} \cdot (g + a_{max}) \cdot 422}{44} \quad (4.5)$$

Um ein Kippen des Trockenrahmens zu vermeiden, muss $A_z > 0$ sein. Mit Hilfe dieser Bedingung lässt sich die erforderliche Zylinderkraft anhand folgender Gleichung berechnen.

$$F_{Zyl} \geq m_{Ges} \cdot (g + a_{max}) \cdot \frac{378}{34} \quad (4.6)$$

Mit den Werten aus Kapitel 4.1 ergibt sich, dass die Zylinderkraft mindestens 2820,49 N betragen muss.

Bei einer Druckluftversorgung von 5,7 bar ergeben sich somit die folgende Kolbenfläche und der folgende Kolbendurchmesser.

$$\begin{aligned} A_{Kolben} &= \frac{F_{Zyl}}{p_{Nenn}} = \frac{2820,49 \text{ N}}{5,7 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 4948,24 \text{ mm}^2 \\ d_{Kolben} &= \sqrt{\frac{A_{Kolben} \cdot 4}{\pi}} = 79,37 \text{ mm} \end{aligned} \quad (4.7)$$

Die erforderlichen Klemmkkräfte führen zu einer erheblichen Belastung der Schweißnähte am Winkelprofil des Trockenrahmens, sowie hohen Belastungen am Profil selbst. Zusätzlich erfordert die Verwendung eines Pneumatikzylinders mit einem Kolbendurchmesser von mindestens 80 mm einen sehr großen Bauraum sowie einen hohen Druckluftverbrauch.

4.3 Konzept 2 - Einfahren in das Hohlprofil und Klemmen von oben

Bei diesem Konzept wird mit Hilfe von zwei Profilen ("Finger") in die beiden Hohlprofile des Trockenrahmens eingefahren. Anschließend werden die Trockenrahmen, mit Hilfe eines Pneumatikzylinders und einer Klemmbacke, von oben fixiert. Das Greifen und Fixieren der Rahmen erfolgt innerhalb der Rahmengeometrie. Somit ist seitlich neben dem Trockenrahmen kein weiterer Bauraum erforderlich. Dadurch ist ein Innen-Freimaß von 220 mm für das Zufuhrband ausreichend. Je länger die Finger, desto weiter muss in das Hohlprofil eingefahren werden. Deshalb wird, um die Zykluszeit zu verkürzen, auf ein Einfahren über den Trockenrahmenschwerpunkt hinaus, verzichtet und stattdessen das Klemmen von oben zum Verhindern des Kippens vorgesehen. Abbildung 4.2 veranschaulicht die Konstruktion des Greifers.

Positionierung:

Die Position der Trockenrahmen ist durch Anschläge für die Paletten in horizontaler Richtung und die bekannte Stückzahl vorgegeben. Durch die Fertigungstoleranzen der Trockenrahmen kann deren Position jedoch abweichen. Die Anlage ermittelt deshalb aus stationären Distanzsensoren die Stapelhöhe und somit die Position des nächsten abzuhebenden Trockenrahmens. Da die Genauigkeit dieser stationären Sensoren nicht ausreicht, wird zusätzlich durch Sensoren am Greifer während der Anfahrt die exakte Position des Rahmens ermittelt und der Greifer darauf ausgerichtet. Kapitel 6 enthält nähere Informationen über die Positionierung. Als Sicherheit, um beim Einfahren der Finger eine Kollision mit den Trockenrahmen zu vermeiden, sind deren Enden konisch ausgeführt.

Die Positionsnummern der Abbildung 4.2 kennzeichnen folgende Bauteile:

1. Profile welche in die Hohlprofile einfahren ("Finger");
2. Klemmbacke;
3. Miniatur-Linear-Kugelführungen;
4. Pneumatikzylinder mit Feststelleinheit;
5. Laser-Distanzsensor.

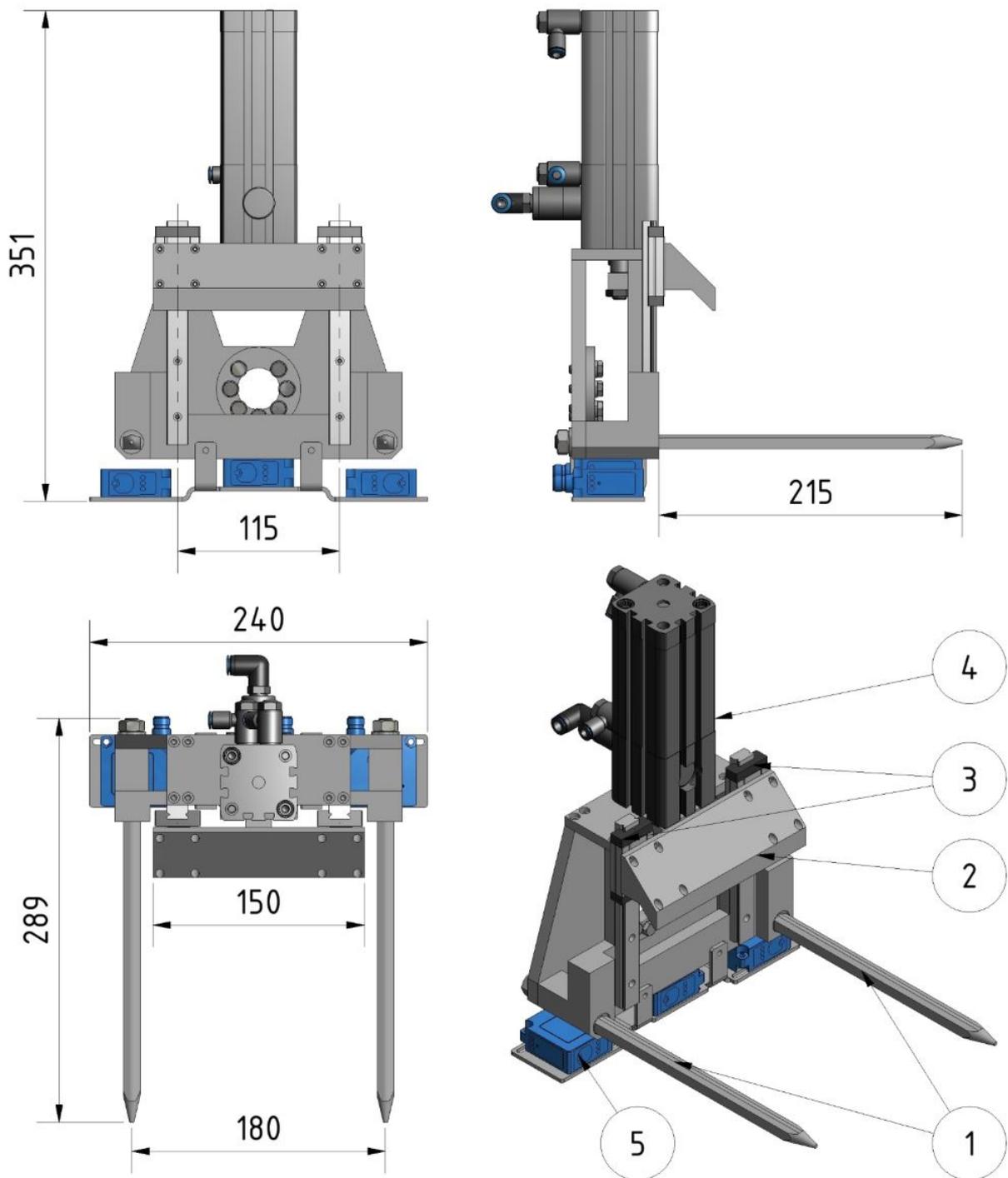


Abbildung 4.2: Konzept 2 - Einfahren in Hohlprofil und Klemmen von oben, Quelle: Eigene Darstellung.

4.3.1 Ermittlung der Kräfte und des Kolbendurchmessers

Die Auslegung erfolgt anhand der Skizze in Abbildung 4.3, welche die Kräftesituation beim Spannen von zwei Trockenrahmen darstellt.

4 Greifer

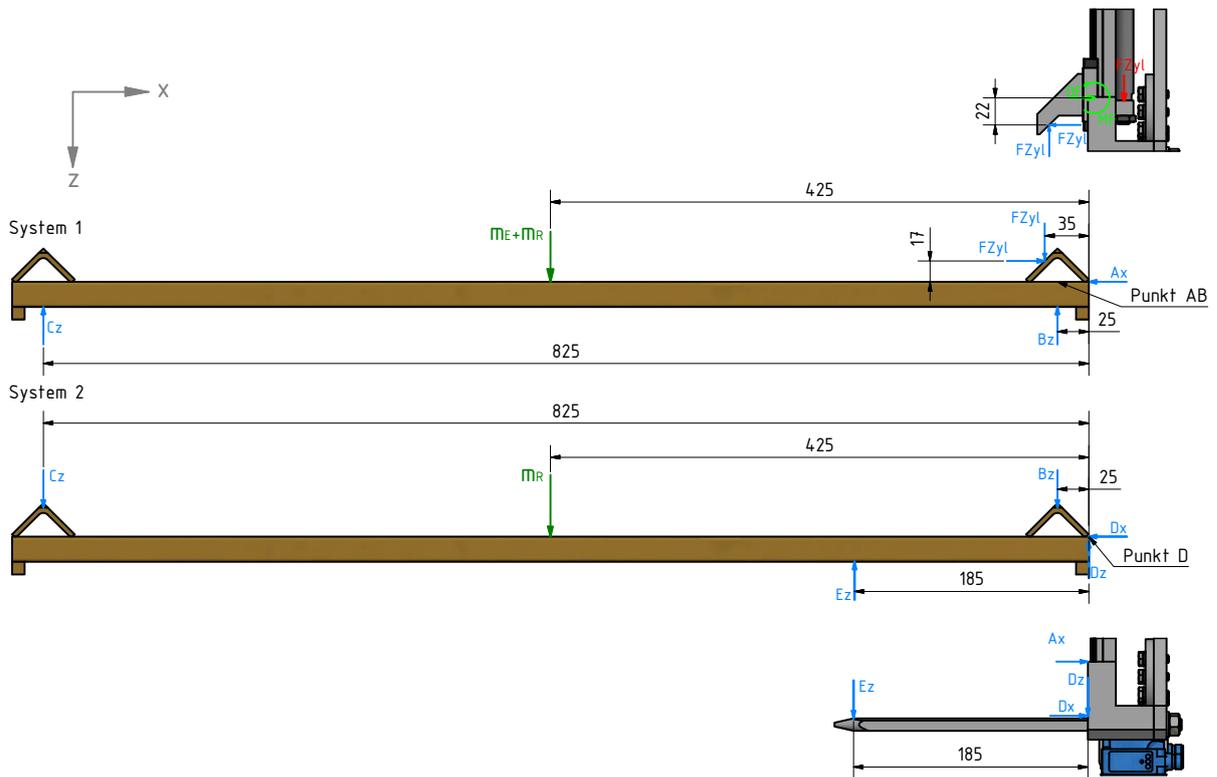


Abbildung 4.3: Ermittlung der Kräfte, Quelle: Eigene Darstellung.

Wie bereits erwähnt, reicht der Finger nicht über den Schwerpunkt hinaus. Um ein Kippen zu vermeiden darf die Kontaktkraft D_z am Greifer nicht kleiner als Null werden. Dies muss auch beim Verzögern in vertikaler Richtung und somit beim Auftreten der Beschleunigung a zusätzlich zur Erdbeschleunigung g gegeben sein. Aus dieser Bedingung ergibt sich die erforderliche Zylinderkraft.

Anhand der Abbildung 4.3 werden folgende Kräfte- und Momentengleichgewichte aufgestellt.
System 1:

$$\sum F_x = 0 = F_{Zyl} - A_x \quad (4.8)$$

$$\sum F_z = 0 = F_{Zyl} + (m_E + m_R) \cdot (g + a_{max}) - C_z - B_z \quad (4.9)$$

$$\sum M_{AB} = 0 = (m_E + m_R) \cdot (g + a_{max}) \cdot (425 - 25) + F_{Zyl} \cdot (35 - 25) - F_{Zyl} \cdot 17 - C_z \cdot (825 - 25) \quad (4.10)$$

System 2:

$$\sum F_x = 0 = D_x \quad (4.11)$$

$$\sum F_z = 0 = C_z + m_R (g + a_{max}) + B_z - E_z - D_z \quad (4.12)$$

$$\sum M_D = 0 = m_R \cdot (g + a_{max}) \cdot 425 + C_z \cdot 825 + B_z \cdot 25 - E_z \cdot 185 \quad (4.13)$$

Aus den Gleichungen 4.8 bis 4.13 und der Bedingung, dass D_z größer Null sein muss, ergibt sich die notwendige Zylinderkraft laut Gleichung 4.14.

$$F_{Zyl} \geq \frac{(240 \cdot m_E + 480 \cdot m_R) \cdot (g + a_{max})}{167} \quad (4.14)$$

Mit dem in Kapitel 4.1 angegebenen Elektrodengewicht, Rahmengewicht und der maximalen Beschleunigung ergibt sich eine minimale Zylinderkraft von 364,6 N.

Um diese Zylinderkraft aufbringen zu können ist folgender minimale Zylinder-Kolbendurchmesser erforderlich (Gleichung 4.15).

$$A_{Kolben} = \frac{F_{Zyl}}{p_{Nenn}} = \frac{364,6 \text{ N}}{5,7 \cdot 10^5 \text{ Pa}} = 639,64 \text{ mm}^2$$

$$d_{Kolben} = \sqrt{\frac{A_{Kolben} \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{639,64 \text{ mm}^2 \cdot 4}{\pi}} = 28,54 \text{ mm} \quad (4.15)$$

Die nächsten Normgrößen von Pneumatikzylindern sind 32 mm sowie 40 mm. Das Kippen bzw. Herabfallen der Rahmen vom Greifer stellt ein erhebliches Sicherheitsrisiko dar. Aus diesem Grund erfolgt die weitere Berechnung, um eine ausreichende Sicherheit zu gewährleisten, mit einem Kolbendurchmesser von 40 mm. Die Zylinderkraft beträgt bei 5,7 bar Druck somit 716,28 N.

Bei dieser Zylinderkraft und den Werten aus Kapitel 4.1 ergeben sich die in Tabelle 4.1 aufgelisteten Kräfte.

Bezeichnung	Werte in N
A_x	716,3
B_z	830,9
C_z	102,1
D_z	317,5
E_z	652,5

Tabelle 4.1: Finger - Auftretende Kräfte, Quelle: Eigene Darstellung

4.3.2 Auslegung hinsichtlich Festigkeit und Durchbiegung der Finger

Wie in Abbildung 4.4 dargestellt, tritt die höchste Beanspruchung der Finger direkt an der Verbindung zur Greifer-Grundplatte auf. Aus dem maximalen Hebelsarm resultiert das höchste Biegemoment. Die Festigkeitsuntersuchung wird deshalb für diesen Punkt durchgeführt.

4 Greifer

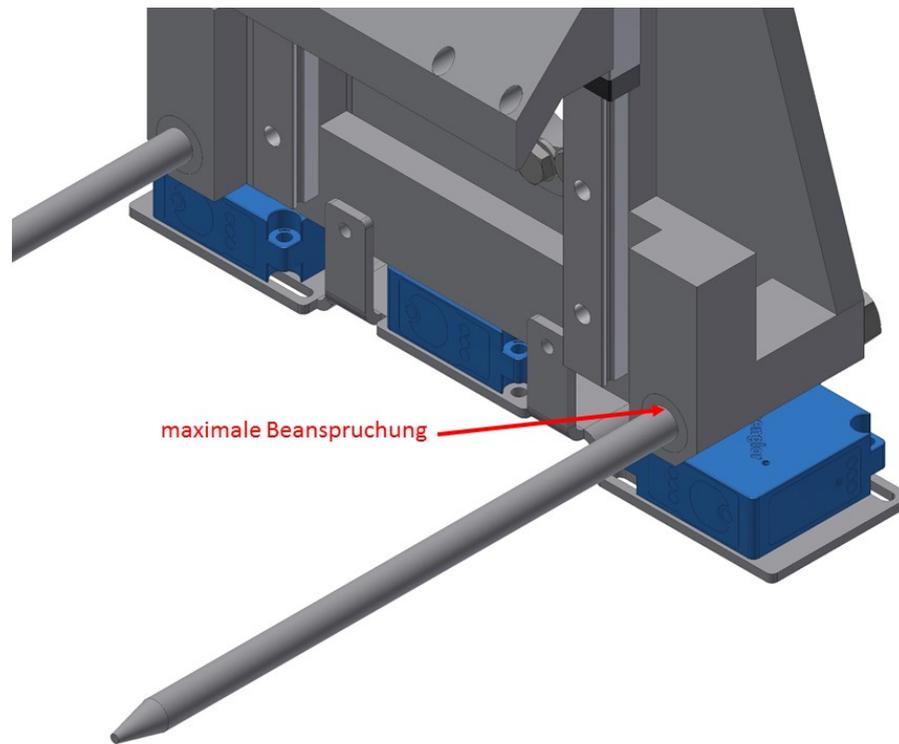


Abbildung 4.4: Konzept 2 - Finger - maximale Beanspruchung, Quelle: Eigene Darstellung.

Bei der Berechnung ist zu beachten, dass sich die zuvor ermittelten Kräfte auf zwei Finger aufteilen und somit pro Finger nur die halben Kräfte wirken. Mit der Kraft E_z am Fingerende und dem Hebelsarm von 185 mm ergibt sich folgendes Biegemoment.

$$Mb_y = \frac{E_z}{2} \cdot 185 \text{ mm} = 60,36 \text{ Nm} \quad (4.16)$$

Mit Hilfe der Geometriedaten der Finger-Querschnittfläche aus Abbildung 4.5 erhält man die Spannungen anhand der Gleichungen 4.17 und 4.18.

$$\sigma_b = \frac{Mb_y \cdot e}{I_y} = \frac{60,36 \text{ Nm} \cdot 5 \text{ mm}}{490,87 \text{ mm}^4} = 614,79 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4.17)$$

$$\tau_Q = \frac{(E_z + D_z) \cdot 4}{2 \cdot (10 \text{ mm})^2 \cdot \pi} = 6,18 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4.18)$$

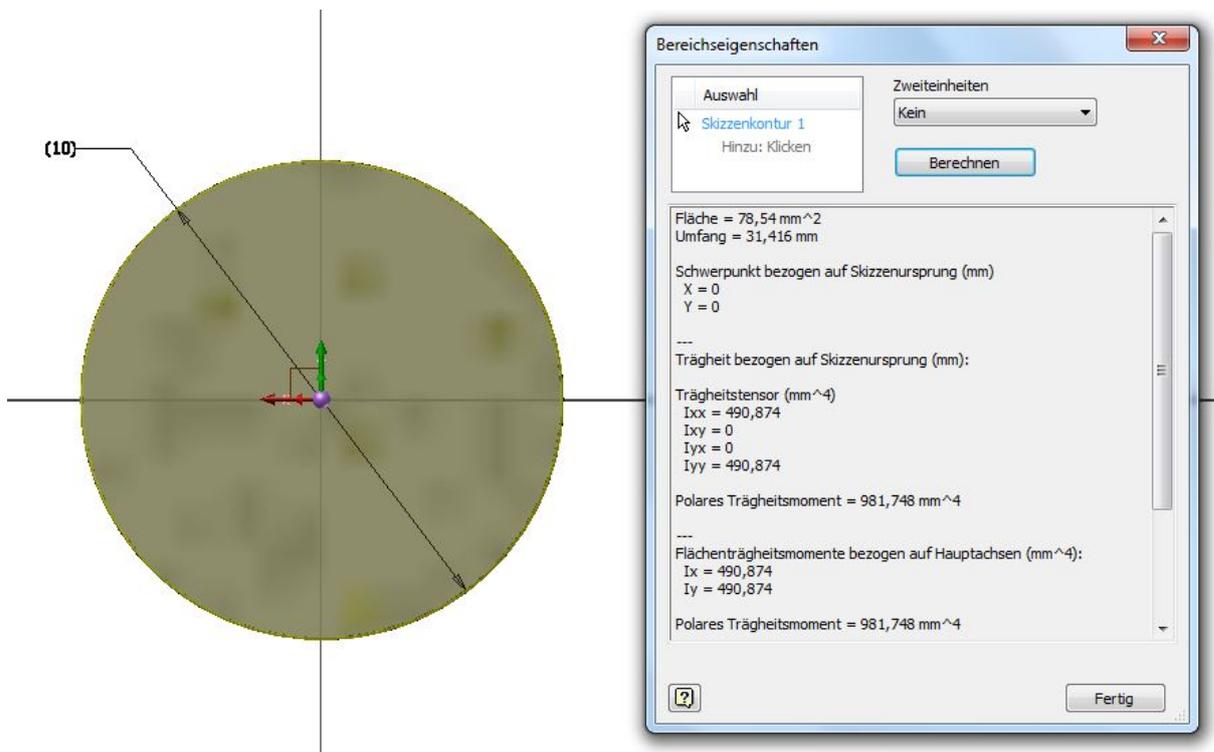


Abbildung 4.5: Konzept 2 - Finger-Rund - Geometriedaten, Quelle: Eigene Darstellung.

Mit Hilfe der Formel der Gestaltänderungsenergiehypothese³ werden die Spannungen auf einen einachsigen Spannungszustand zurückgeführt (Gleichung 4.19).

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_Q^2} = 614,88 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4.19)$$

Durchbiegung

Es ist erforderlich, dass der Trockenrahmen, während dieser mit Elektroden belegt ist, waage-recht gehalten wird. Eine geringfügige Neigung um die Längsachse ist, aufgrund des hohen Reibwiderstands der Elektroden, tolerierbar. Um ein Rollen der Elektroden zu verhindern ist die Neigung um die Querachse des Trockenrahmens - parallel zur Elektrodenachse (Neigung um die y-Achse in Abbildung 4.3) - jedoch so gering wie möglich zu halten.

Die maximale Durchbiegung ergibt sich für einen Biegeträger bei gleichbleibenden Querschnitt laut Böge⁴ anhand der folgenden Gleichung.

$$f = \frac{F \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (4.20)$$

Auf die auftretende Kräftesituation und Geometrie angewandt ergibt sich die Durchbiegung anhand Gleichung 4.21.

$$f = \frac{\frac{E_z}{2} \cdot (185 \text{ mm})^3}{3 \cdot 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 490,874 \text{ mm}^4} = 6,68 \text{ mm} \quad (4.21)$$

Auf die Länge von 185 mm ergeben 6,68 mm eine Neigung von 2.07°.

³Vgl. Böge (2012), S. 240.

⁴Vgl. Böge (2012), S. 240.

4.3.3 Optimieren der Geometrie der Finger

Da Stahl als Werkstoff vorgegeben ist, lässt sich die Verformung rein von der Geometrie und den äußeren Lasten beeinflussen. Dies erkennt man auch an der Formel 4.20. In dieser, ist nur der E-Modul vom verwendeten Werkstoff abhängig. Für Stahl kann von einem konstanten Modul mit $210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$ ausgegangen werden.

Fingerlänge

Wie eingangs in diesem Kapitel erwähnt, wird aufgrund der geforderten Zykluszeit auf längere Finger verzichtet. Trotzdem wird im folgenden der Einfluss der Fingerlänge auf die Durchbiegung erläutert.

Bei Betrachtung der Formel 4.20 erkennt man, dass nur F und l von der Fingerlänge abhängen. Dabei entspricht F den auftretenden äußeren Lasten welche sich durch die Zylinderkraft, den Massen von Rahmen und Elektroden, den Beschleunigungen sowie durch die Bauform bzw. den Abmessungen des Greifers und der Fingerlänge ergeben. E_z als Funktion der Fingerlänge ergibt sich anhand Gleichung 4.22.

$$E_z = \frac{18 \cdot F_{\text{Zyl}} + (425 \cdot m_E + 850 \cdot m_R) \cdot (g + a_{\text{max}})}{l_{\text{Finger}}} \quad (4.22)$$

Die Durchbiegung als Funktion der Fingerlänge und der Kraft E_z ergibt sich durch die folgende Gleichung.

$$f = \frac{E_z \cdot l_{\text{Finger}}^3}{2 \cdot 3 \cdot E \cdot I} \quad (4.23)$$

In die Minderung der Kraft E_z fließt die Fingerlänge mit der 1. Potenz ein. Die Durchbiegung erhöht sich durch die Verlängerung der Finger mit der 3. Potenz. Eine Verlängerung der Finger bringt demnach, bei gleichbleibender Zylinderkraft, keine Verbesserung der Durchbiegung.

Querschnitt des Fingers

Die einzig verbleibende Möglichkeit zur Verringerung der Durchbiegung ist somit eine Erhöhung des Flächenträgheitsmoments und damit eine Änderung der Geometrie. Das maximale Flächenträgheitsmoment beim vorgegebenen Bauraum erhält man durch die Rechteckform. Das rechteckige Hohlprofil, in welches eingefahren wird, erlaubt eine Verbreiterung des Fingerprofils in eine Richtung. Dadurch, dass die Höhe in der Gleichung 4.25 mit der 3. Potenz und die Breite nur mit der 1. Potenz in das Flächenträgheitsmoment einfließen, ist zu erkennen, dass eine Verbreiterung weniger zur Steifigkeit beiträgt als eine Vergrößerung der Höhe.

In Abbildung 4.6 werden die Flächenträgheitsmomente von Kreis- und Rechteckquerschnitt einander gegenübergestellt.

4 Greifer

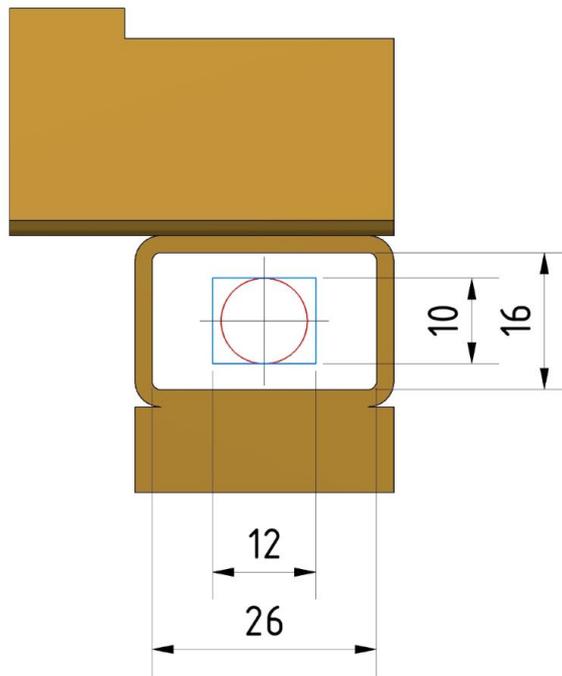


Abbildung 4.6: Konzept 2 - Finger Geometrievergleich, Quelle: Eigene Darstellung.

Für den Kreis- und Rechteckquerschnitt ergeben sich laut den folgenden Formeln⁵ die nachstehenden Flächenträgheitsmomente.

$$I_{Kreis} = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot (10\text{ mm})^4}{64} = 490,87\text{ mm}^4 \quad (4.24)$$

$$I_{Rechteck} = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{12\text{ mm} \cdot (10\text{ mm})^3}{12} = 1000\text{ mm}^4 \quad (4.25)$$

Die Trockenrahmen bestehen aus geschweißten Hohlprofilen EN 10219 - 30x20x2. Die Längsnaht der Hohlprofile befindet sich, außermittig, an der langen Seite des Rechteckquerschnitts. Somit kann es vorkommen, dass der Finger auf dieser Schweißnaht aufliegt. Um eine bessere Auflage zu erhalten, muss der Finger deshalb an der Oberseite abgerundet werden. Damit ergibt sich das in Abbildung 4.7 dargestellte, optimierte Profil.

⁵Vgl. Böge (2012), S. 225 f.

4 Greifer

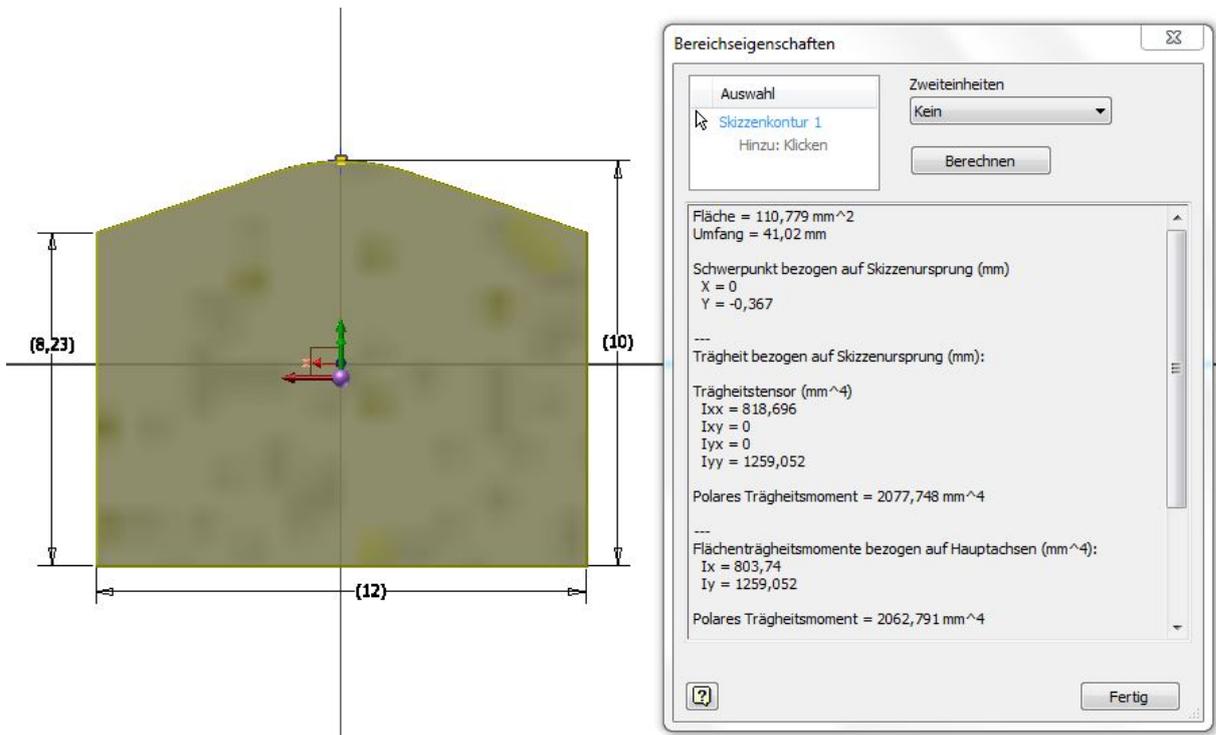


Abbildung 4.7: Konzept 2 - Finger - Optimierte Kontur, Quelle: Eigene Darstellung.

Mit dem Flächenträgheitsmoment des Profils aus Abbildung 4.7 (I_x der Abbildung entspricht I_y der Gleichung) ergeben sich die Biegespannung, Schubspannung und Vergleichsspannung in den Gleichungen 4.26 bis 4.28.

$$\sigma_b = \frac{M b_y \cdot e}{I_y} = \frac{60,36 \text{ Nm} \cdot 5,367 \text{ mm}}{803,74 \text{ mm}^4} = 403,03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4.26)$$

$$\tau_Q = \frac{E_z + D_z}{2 \cdot A} = \frac{652,5 \text{ N} + 317,5 \text{ N}}{2 \cdot 110,779 \text{ mm}^2} = 4,38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4.27)$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot \tau_Q^2} = 403,11 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \quad (4.28)$$

Die Vergleichsspannung kann somit um 34,4 % reduziert werden. Mit Hilfe der Gleichung 4.20 ergibt sich folgende Durchbiegung (Gleichung 4.29).

$$f = \frac{\frac{E_z}{2} \cdot (185 \text{ mm})^3}{3 \cdot 210000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 803,75 \text{ mm}^4} = 4,08 \text{ mm} \quad (4.29)$$

Auf die Länge von 185 mm ergeben 4,08 mm eine Neigung von 1,26°.

Die Durchbiegung und somit Neigungswinkel können durch die optimierte Geometrie um 38,9 % verringert werden.

Die Geometrie lässt sich aufgrund des begrenzten Baumraums nicht weiter optimieren. Somit lässt sich die Durchbiegung nur durch einen Werkstoff mit höherem E-Modul verringern, was nicht weiter betrachtet wird.

Die verbleibende Durchbiegung bzw. Schrägstellung der Trockenrahmen bei Konzept 2 kann durch den Knickarmroboter ausgeglichen werden. Das Gewicht der Elektroden auf den Trockenrahmen variiert je nach Elektrodentyp, weshalb die Neigung des Greifers an die Belegung der Trockenrahmen angepasst werden muss.

4.4 Konzept 3 - Seitliche Klemmbacken

Diese Greifervariante sieht vor, den Trockenrahmen mit Klemmbacken seitlich zu klemmen und gleichzeitig von unten zu unterstützen. Der Nachteil dabei ist, dass zusätzlich zur Breite des Trockenrahmens noch weiterer Platzbedarf für die Klemmbacken besteht. Da die seitlichen Bleche nur 6 mm stark sind, wird die maximal erlaubte Breite nicht überschritten. Die Klemmbacke, welche den Trockenrahmen von oben fixiert, dient, durch die Keilform, zusätzlich als Positionierhilfe für den Trockenrahmen. Durch diese Keilform wird der Trockenrahmen, bei geringen Positionsabweichungen in Längsrichtung des Trockenrahmens, zum rückwärtigen Anschlag gedrückt. Der Pneumatikzylinder für die obere Klemmbacke ist mit einer Feststelleinheit ausgestattet. Im Falle einer Unterbrechung der Druckluftzufuhr fixiert diese die Kolbenstange und verhindert somit ein Wegschleudern oder Herabfallen der Trockenrahmen vom Greifer.

Die Positionsnummern der Abbildung 4.8 kennzeichnen folgende Bauteile:

1. Klemmbacke;
2. Rollenführung;
3. Miniatur-Linear-Kugelführung;
4. Pneumatikzylinder mit Feststelleinheit
(Kolben-Durchmesser = 25 mm, Hub = 90 mm);
5. Pneumatikzylinder für die Klemmbacken
(Kolben-Durchmesser = 20 mm, Hub = 90 mm);
6. Laser-Distanzsensor.

4 Greifer

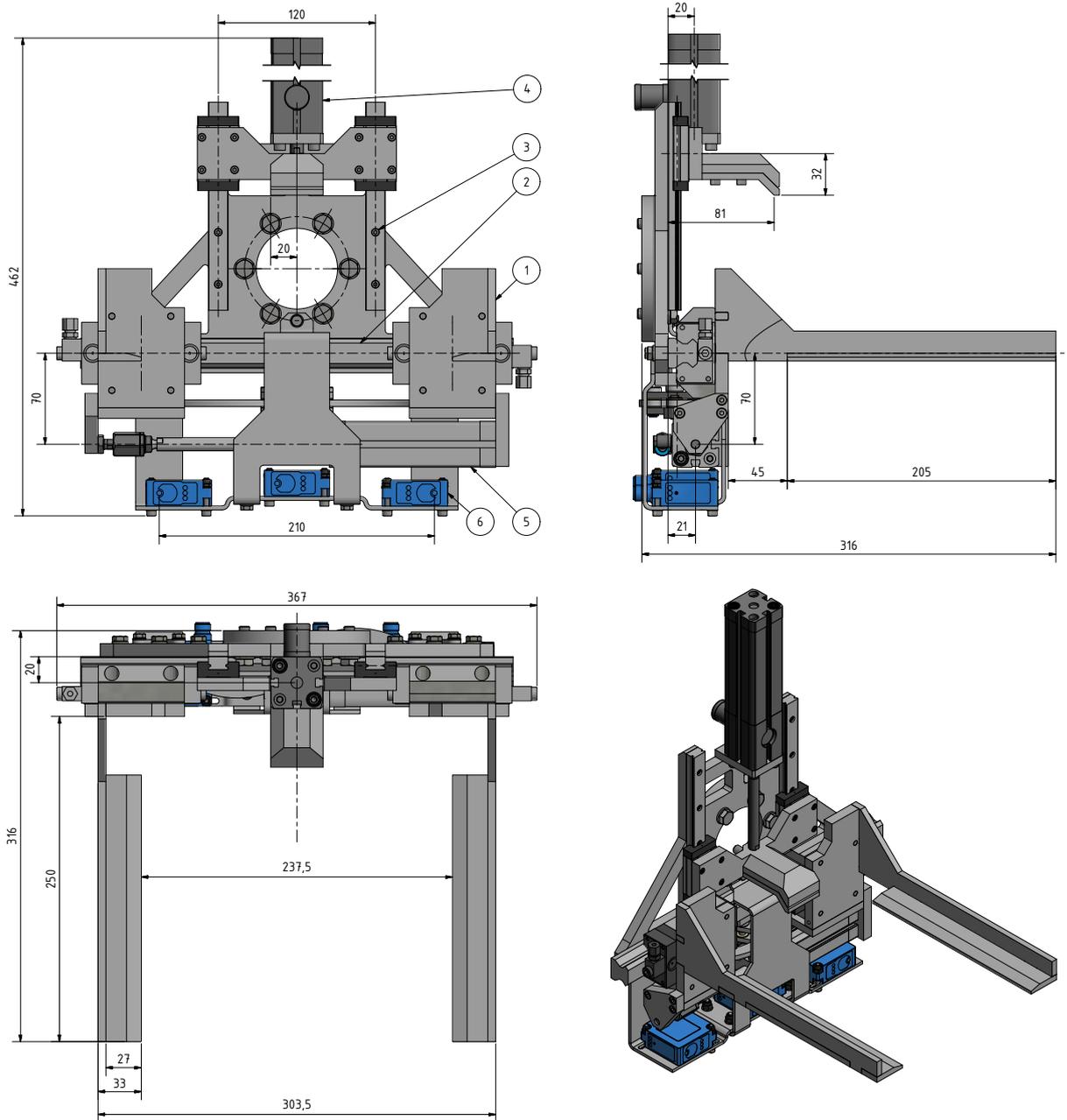


Abbildung 4.8: Konzept 3 - Seitliche Klemmböden, Quelle: Eigene Darstellung.

4.4.1 Ermittlung der Kräfte und des notwendigen Kolbendurchmessers

Wie bei Konzept 2, reichen die Klemmböden auch bei diesem Konzept nicht über den Schwerpunkt hinaus. Um ein Kippen zu vermeiden, darf die Kontaktkraft D_z am Greifer nicht kleiner Null werden. Dies muss auch beim Verzögern in vertikaler Richtung und somit beim Auftreten der Beschleunigung a zusätzlich zur Erdbeschleunigung g gegeben sein. Aus dieser Bedingung lässt sich die erforderliche Zylinderkraft berechnen.

4 Greifer

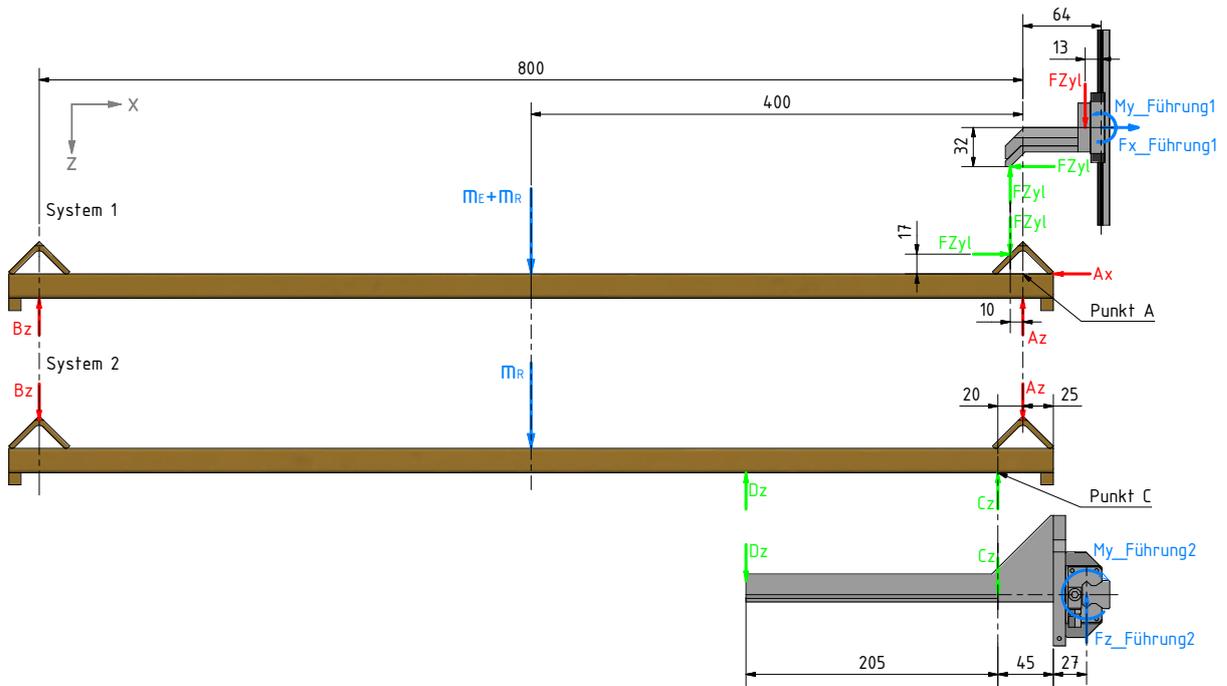


Abbildung 4.9: Konzept 3 - Ermittlung der Kräfte, Quelle: Eigene Darstellung.

Die Momenten- und Kräftegleichgewichte der Gleichungen 4.30 bis 4.35 ergeben sich aus der Abbildung 4.9.

System 1:

$$\sum F_x = 0 = F_{Zyl} - A_x \quad (4.30)$$

$$\sum F_z = 0 = F_{Zyl} + (m_E + m_R) \cdot (g + a_{max}) - A_z - B_z \quad (4.31)$$

$$\sum M_A = 0 = (m_E + m_R) \cdot (g + a_{max}) \cdot 400 + F_{Zyl} \cdot 10 - F_{Zyl} \cdot 17 - B_z \cdot 800 \quad (4.32)$$

System 2:

$$\sum F_x = 0 \quad (4.33)$$

$$\sum F_z = 0 = m_R \cdot (g + a_{max}) + A_z + B_z - C_z - D_z \quad (4.34)$$

$$\begin{aligned} \sum M_C = 0 \\ = m_R \cdot (g + a_{max}) \cdot (400 - 20) + B_z \cdot (800 - 20) - D_z \cdot 205 - A_z \cdot 20 \end{aligned} \quad (4.35)$$

Um ein Kippen zu verhindern müssen $C_z > 0$ und $D_z > 0$ sein. Somit lässt sich die erforderliche Zylinderkraft durch Gleichung 4.36 berechnen.

$$\frac{175 \cdot (g + a_{max}) \cdot (m_E + 2 \cdot m_R)}{232} \leq F_{Zyl} \leq \frac{380 \cdot (g + a_{max}) \cdot (m_E + 2 \cdot m_R)}{27} \quad (4.36)$$

Mit dem in Punkt 4.1 angegebenen Elektroden- und Rahmengewicht sowie der maximalen Beschleunigung beträgt der zulässige Bereich der Zylinderkraft $191,4\text{ N} \leq F_{\text{Zyl}} \leq 3570,5\text{ N}$.

Der erforderliche Kolbendurchmesser um diese Kraft bei 5,7 bar Druck aufbringen zu können beträgt laut Gleichung 4.37 20,7 mm.

$$A_{\text{Kolben}} = \frac{F_{\text{Zyl}_{\text{min}}}}{p_{\text{Nenn}}} = \frac{191,4\text{ N}}{5,7 \cdot 10^5\text{ Pa}} = 335,79\text{ mm}^2$$

$$d_{\text{Kolben}} = \sqrt{\frac{A_{\text{Kolben}} \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{335,79\text{ mm}^2 \cdot 4}{\pi}} = 20,68\text{ mm} \quad (4.37)$$

Als nächste Normgröße wird ein Zylinderdurchmesser von 25 mm gewählt. Damit ergibt sich bei 5,7 bar eine Zylinderkraft von 279,8 N.

Der gewählte Zylinderdurchmesser resultiert in einer Sicherheit von 46,2% zur minimalen Zylinderkraft.

Aus den Gleichungen 4.30 bis 4.35 und der Zylinderkraft erhält man die in Tabelle 4.2 aufgelisteten Werte für die auftretenden Kräfte.

Bezeichnung	Werte in N
A_z	390,6
B_z	105,9
C_z	100,1
D_z	433,4

Tabelle 4.2: Seitliche Klemmbacken - Auftretende Kräfte, Quelle: Eigene Darstellung.

Der gesamte Spann- und Entspannvorgang der Trockenrahmen darf jeweils maximal 1,2 s dauern. Um sicherzustellen, dass diese Vorgabe eingehalten werden kann, wird die Positionierzeit mit Hilfe eines von der Firma Festo zur Verfügung gestellten Auslegungstools ermittelt. Laut diesem beträgt die Positionierzeit 0,182 s. Die Auslegung kann im Anhang eingesehen werden.

4.4.2 FEM-Analyse der seitlichen Klemmbacken

Die Belastungen der seitlichen Klemmbacken werden mit Hilfe einer FEM-Analyse ermittelt. Die FEM-Analyse wurde in Autodesk Inventor durchgeführt und wird in den Abbildungen 4.10 und 4.11 dargestellt.

4 Greifer

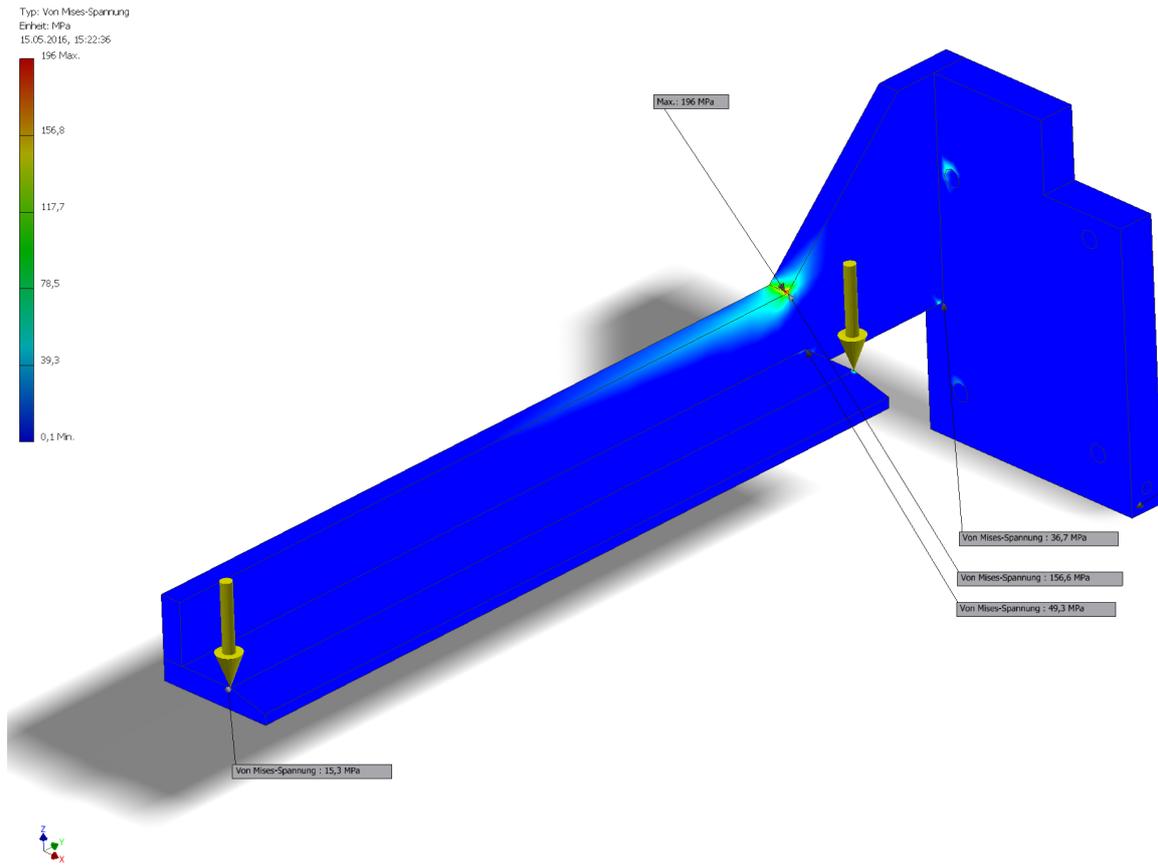


Abbildung 4.10: Konzept 3 - FEM - Von Mises Spannungen, Quelle: Eigene Darstellung.

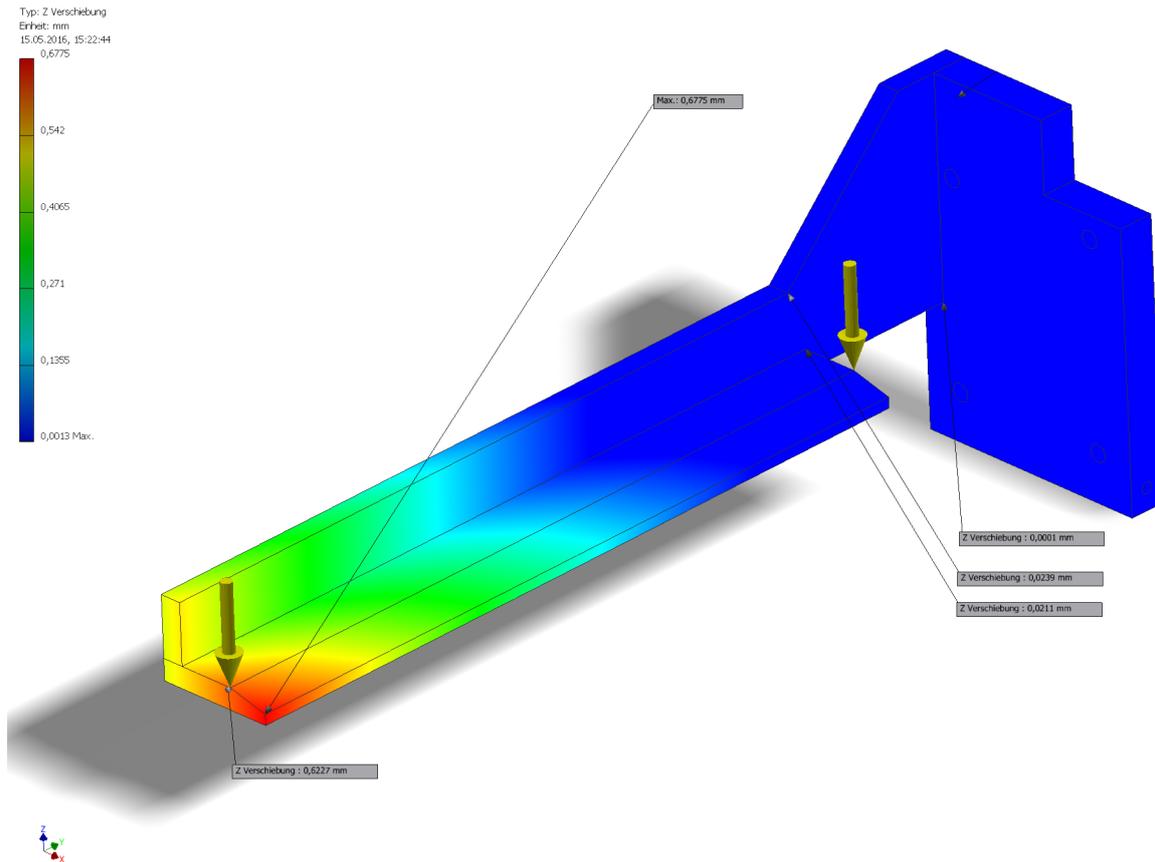


Abbildung 4.11: Konzept 3 - FEM - Verschiebung in vertikaler Richtung, Quelle: Eigene Darstellung.

Die maximale Spannung tritt erwartungsgemäß am Übergang zum kleineren Querschnitt auf und beträgt 196 N/mm^2 . Der Übergang kann verrundet werden um die Kerbwirkung in diesem Punkt zu reduzieren. Für eine höhere Verschleißfestigkeit der unteren Leiste, auf welcher der Rahmen aufliegt, wird diese randschichtgehärtet.

Die relevante Verschiebung in vertikaler Richtung am äußeren Auflagepunkt beträgt laut FEM-Analyse 0,62 mm (siehe Abbildung 4.11). Bezogen auf die Länge der Klemmbacke entspricht dies einem Winkel von $0,14^\circ$.

4.4.3 Auslegung der Pneumatikzylinder der Klemmbacken

Für die Auslegung des Pneumatikzylinders zum Öffnen und Schließen der seitlichen Klemmbacken sind folgende zwei Situationen von Bedeutung:

- Öffnen der Klemmbacken bei belegten Rahmen:
 Auch bei voller Belegung von zwei Trockenrahmen mit Elektroden muss das Öffnen der Finger möglich sein. Dafür muss die Reibkraft, welche in Gleichung 4.38 berechnet wird, überwunden werden. Für den Reibwert zwischen Stahl und Stahl wird $\mu_{St/St} = 0,2$ angenommen.

$$F_{Zyl} = F_R = F_G \cdot \mu_{St/St} = (2 \cdot m_R + m_E) \cdot g \cdot \mu_{St/St} = 33,6 \text{ N} \quad (4.38)$$

- Heben von zwei leeren Rahmen über die Fase an der Klemmbacke:

Im Normalbetrieb fährt der Greifer, ohne mit der Fase den Trockenrahmen zu berühren, seitlich zusammen. Für den Fall einer ungenauen, zu hohen Positionierung der Klemmbacke, ermöglicht die Fase das Heben von zwei leeren Trockenrahmen und erhöht somit die Fehlertoleranz. Mit Hilfe der Abbildung 4.12 und den Gleichungen 4.39 bis 4.41 kann die, für das Heben erforderliche, Zylinderkraft berechnet werden.

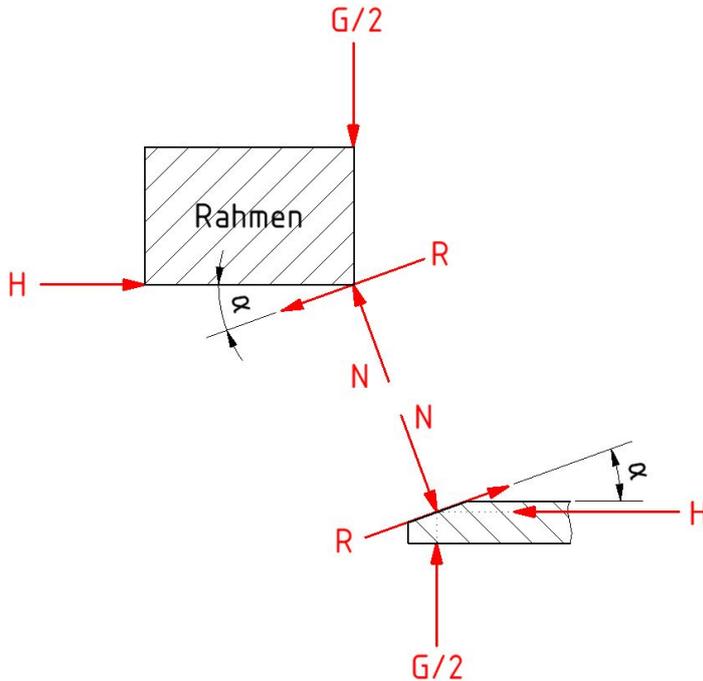


Abbildung 4.12: Konzept 3 - Skizze - Erforderliche Zylinderkraft, Quelle: Eigene Darstellung.

$$\sum F_x = 0 = H - N \cdot (\mu_{St/St} \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha)) \quad (4.39)$$

$$\sum F_z = 0 = \frac{G}{2} + N(\mu_{St/St} \cdot \sin(\alpha) - \cos(\alpha)) \quad (4.40)$$

$$H = \frac{G}{2} \cdot \frac{\sin(\alpha) + \mu_{St/St} \cdot \cos(\alpha)}{\cos(\alpha) - \mu_{St/St} \cdot \sin(\alpha)} \quad (4.41)$$

Mit $G = 2 \cdot m_R \cdot g$, $\alpha = 15^\circ$, $\mu_{St/St} = 0,2$ und $F_{Zyl} = 2 \cdot H$ beträgt die, für diesen Fall, erforderliche Zylinderkraft 24,3 N

Die maximal notwendige Zylinderkraft zum Schließen und Öffnen der Klemmbacken tritt somit beim Überwinden der Reibung bei belegten Trockenrahmen auf und beträgt 33,6 N. Dafür ist ein Pneumatikzylinder mit 12 mm Kolbendurchmesser ausreichend. Die seitliche Klemmung muss innerhalb von 0,25 s erfolgen. Die dafür erforderliche hohe Geschwindigkeit überlastet laut dem Auslegungstool der Firma Festo die elastischen Dämpfungsringe. Deshalb ist eine pneumatische Endlagendämpfung notwendig.

Festo bietet bei der Baureihe 'Kompaktzylinder - ADN' erst ab einem Kolbendurchmesser von

20mm eine pneumatische Endlagendämpfung (PPS) an. Aus diesem Grund wird ein Pneumatikzylinder vom Typ 'ADN-20-90-A-PPS-A' gewählt. Für diesen ergibt sich bei 5,7 bar für die Zylinderkraft im Vorlauf $F_{Zyl_Vorlauf} = 179\text{N}$ und im Rücklauf $F_{Zyl_Rücklauf} = 134\text{N}$.

Die Positionierzeit beträgt laut dem Tool der Firma Festo: 0,231 s.

Die Auslegung des Pneumatikzylinders mit Hilfe des Tools befindet sich im Anhang.

4.4.4 Mechanik zum Zentrieren der Klemmbacken

Damit die Trockenrahmen exakt auf dem Greifer positioniert werden, müssen die seitlichen Klemmbacken jeweils den gleichen Weg zurücklegen. Der Pneumatikzylinder ist dafür mit der Kolbenstange an der einen und dem Boden des Zylinderrohrs an der anderen Klemmbacke befestigt. Ein Getriebe synchronisiert die Bewegung der beiden Klemmbacken, sodass beide den selben Weg zurücklegen. Abbildung 4.13 veranschaulicht die Funktionsweise. Die blauen Pfeile im Schnitt A-A zeigen die Wirkrichtung des Pneumatikzylinders beim Zusammenfahren der beiden Klemmbacken.

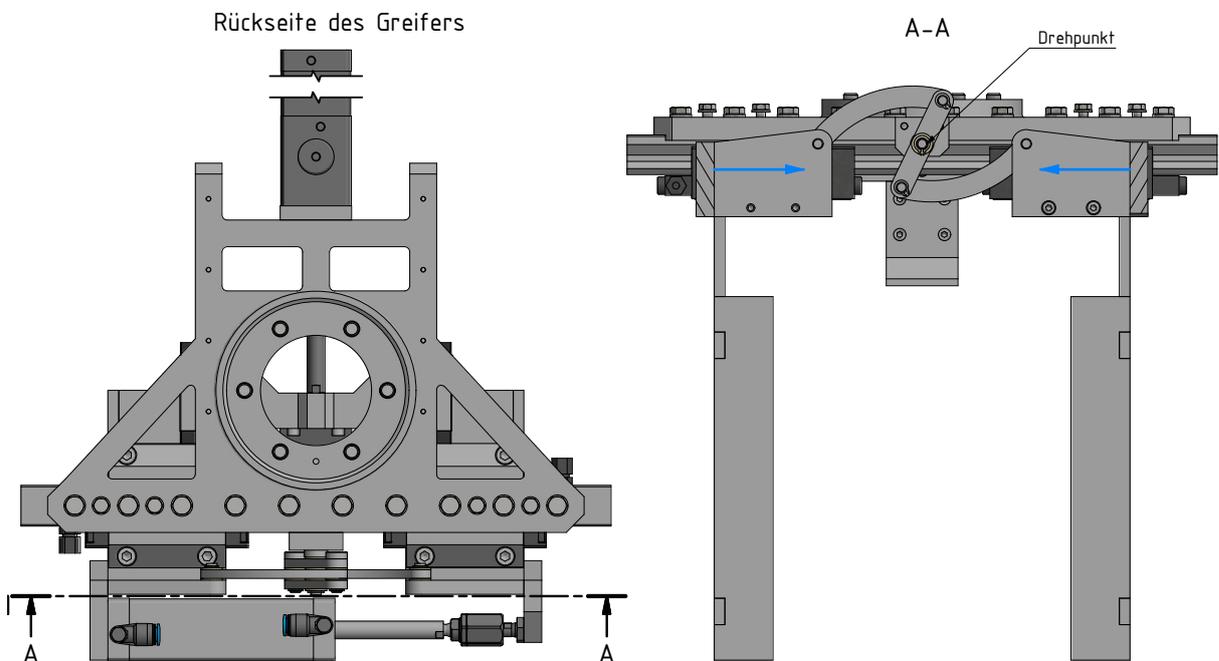


Abbildung 4.13: Greifer - Zentrierung, Quelle: Eigene Darstellung.

4.4.5 Auslegung der Linearführungen

Miniatur-Linearrollführung für das Klemmen von Oben

Die Auslegung der Miniatur-Linearrollführungen wurde mit Hilfe des von der Firma FAG bzw. Schäffler zur Verfügung gestellten Auslegungstool 'Bearinx-online Easy Linear' durchgeführt und ist im Anhang zu finden. Die Lebensdauer beträgt laut dieser Auslegung 10761 km. Bei maximaler Anlagengeschwindigkeit ergibt sich folgender Verfahrensweg pro Stunde.

$$\frac{3600\text{ s}}{11\text{ s}} \cdot 90\text{ mm} \cdot 2 = 58,9\text{ m} \quad (4.42)$$

Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die verwendete Führung ausreichend dimensioniert ist.

Rollenumlaufführung für die beiden Klemmbacken

Die Auslegung der Rollenumlaufführung wurde ebenfalls mit Hilfe des von der Firma FAG bzw. Schäffler zur Verfügung gestellten Auslegungstool "Bearinx-online Easy Linear" durchgeführt und ist im Anhang zu finden. Die Lebensdauer beträgt laut dieser Auslegung 6530 km. Die pro Stunde bei maximaler Anlagengeschwindigkeit vom Führungswagen zurückgelegte Strecke beträgt 26,2 m. Man kann auch hier davon ausgehen, dass die Lebensdauer der verwendeten Führung ausreichend ist.

4.4.6 Sensorik

Am Greifer sind drei Distanzsensoren angebracht, welche in Abbildung 4.14 ersichtlich sind. Der mittig montierte Sensor dient der exakten vertikalen Positionierung. Die beiden seitlichen Sensoren ermöglichen die genaue horizontale Positionierung. Die Trockenrahmen werden durch Anschläge für die Paletten zwar positioniert, durch Fertigungstoleranzen und ungenaue Stapelung kann die reale Position trotzdem abweichen. Durch die seitliche Klemmung und somit der Zentrierung der Trockenrahmen ist es zwar nicht unbedingt notwendig den Greifer horizontal exakt auszurichten, trotzdem wird dies zur Erhöhung der Prozesssicherheit durchgeführt.

Bei der Anfahrt des Greifers errechnet die Robotersteuerung die Position an welcher sich der nächste Rahmen befindet. Um Abweichungen auszugleichen, erkennt der mittlere Sensor die Oberkante des Rahmens beim Abwärtsfahren. Aus der Position des Roboters zum Zeitpunkt zu dem der Sensor auslöst, wird die exakte Position des nächsten Rahmens errechnet. Zusätzlich wird beim Auslösen dieses Sensors die seitliche Position der beiden anderen Sensoren ermittelt. Die Distanzsensoren sind so am Greifer ausgerichtet, dass ihr Lichtfleck jeweils den Rand des Trockenrahmens trifft. Wenn einer der beiden Sensoren nicht auslöst, bessert die Robotersteuerung die Position des Greifers nach. Die Sensoren für die horizontale Positionserkennung sind, um eine Justierung zu ermöglichen, durch Langlöcher verschiebbar angebracht.

Am Pneumatikzylinder mit der Feststelleinheit befinden sich drei Positionssensoren. Einer für den geöffneten Zustand, einer welche die Klemmung von einem Trockenrahmen signalisiert und ein weiterer welcher die korrekte Klemmung beim Greifen von zwei Trockenrahmen erkennt.

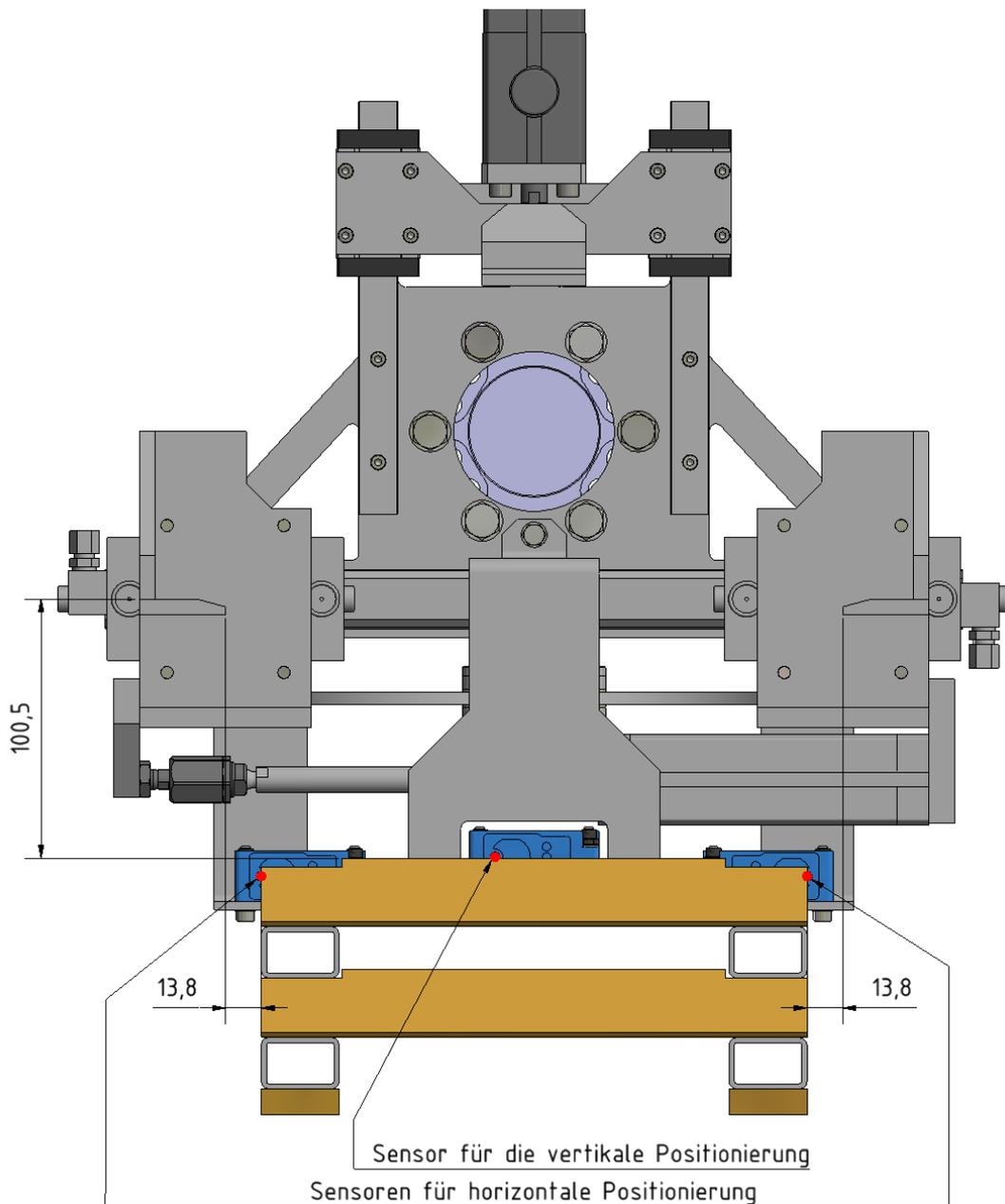


Abbildung 4.14: Greifer - Positionierung, Quelle: Eigene Darstellung.

4.5 Konzeptvergleich

Die drei näher betrachteten Lösungen wurden in einer Diskussionsrunde bei der vaBWA besprochen. Dabei fiel die Entscheidung auf das Konzept 3 - Seitliche Klemmbacken. Die Belastung der Trockenrahmen bei Konzept 1 wird als zu hoch erachtet. Der aufwändige Neigungsausgleich und die geringe Robustheit der beiden Finger des Greifers sind die Gründe der Entscheidung gegen das Konzept 2. Die Entscheidung wird in einer Auswahlliste in Anlehnung an Pahl, Beitz⁶ in Abbildung 4.15 dokumentiert.

⁶Vgl. Pahl/Beitz (2004), S. 141.

4 Greifer

	Konzept 1	Konzept 2	Konzept 3
Durchbiegung	?	-	+
Belastung der Trockenrahmen	-	+	+
Robustheit des Greifers	+	-	+
Fertigungsaufwand	+	+	+
Spannzeit	+	+	+
Gesamt	-	-	+

? ... weitere Informationen notwendig + ... weiterverfolgen - ... scheidet aus

Abbildung 4.15: Greifer - Auswahlliste, Quelle: Eigene Darstellung.

5 Reinigungsvorrichtung

Die Anlage sowie der Lagerplatz der Paletten mit den Trockenrahmen befinden sich in einer staubigen Umgebung. Das Auflegen der noch feuchten Elektroden auf einen staubigen Untergrund hat eine unzulässige Verschmutzung der Oberfläche zur Folge. Vor dem Belegen der Trockenrahmen mit Elektroden ist es daher notwendig die Auflagefläche der Trockenrahmen vom Staub zu reinigen. Im aktuellen Ablauf erfolgt dies durch Abwischen mit einem trockenen Tuch durch einen Mitarbeiter während dem Zuführen der Trockenrahmen.

Als Reinigungseinheit wurden zwei Varianten in Betracht gezogen. Zum einen eine Streifenbürste und zum anderen eine rotierende Walzenbürste. Aufgrund der erwarteten besseren Reinigungsleistung fällt die Wahl auf die rotierende Walzenbürste. Eine Übersicht der Konstruktion ist in Abbildung 5.1 ersichtlich.

Die Auslegung der Antriebsleistung, Drehzahl und Typ der Bürste der Reinigungsvorrichtung wurde in Rücksprache mit der Firma Lessmann und deren Erfahrungswerten durchgeführt. Die Antriebsleistung des Motors mit Stirnradgetriebe beträgt 90 W und die Abtriebsdrehzahl $180,4\text{ min}^{-1}$. Es wird eine Bürste mit 120 mm Durchmesser, einer Länge von 760 mm und Kunststoffborsten verwendet.

Der Greifer bewegt sich direkt an der Stirnseite der Bürste vorbei. Deshalb ist es erforderlich die Bürste nur einseitig zu lagern oder den Überstand der Lagerung an der Stirnseite so gering wie möglich zu halten. Um eine gleichmäßigere Reinigung und Abnutzung zu gewährleisten, wurde gegen die einseitige Lagerung entschieden. Stattdessen wird die Hohlwelle der Bürste ausgedreht um ein innenliegendes Rillenkugellager unterzubringen.

Das Blech für die Befestigung des Flanschlagers an der Konsole wurde nach unten hin verlängert, um die Befestigung einer optionalen Absaugung zu ermöglichen.

Die Befestigung der Reinigungsvorrichtung erfolgt unter dem Zufuhrband an der Entstapelseite. Nach dem Entstapeln verfährt der Greifer mit den geklemmten Trockenrahmen unter der Bürste hindurch um diese zu reinigen. Die Bürste wird erst kurz bevor die Reinigung stattfindet eingeschaltet und danach wieder ausgeschaltet.

5 Reinigungsvorrichtung

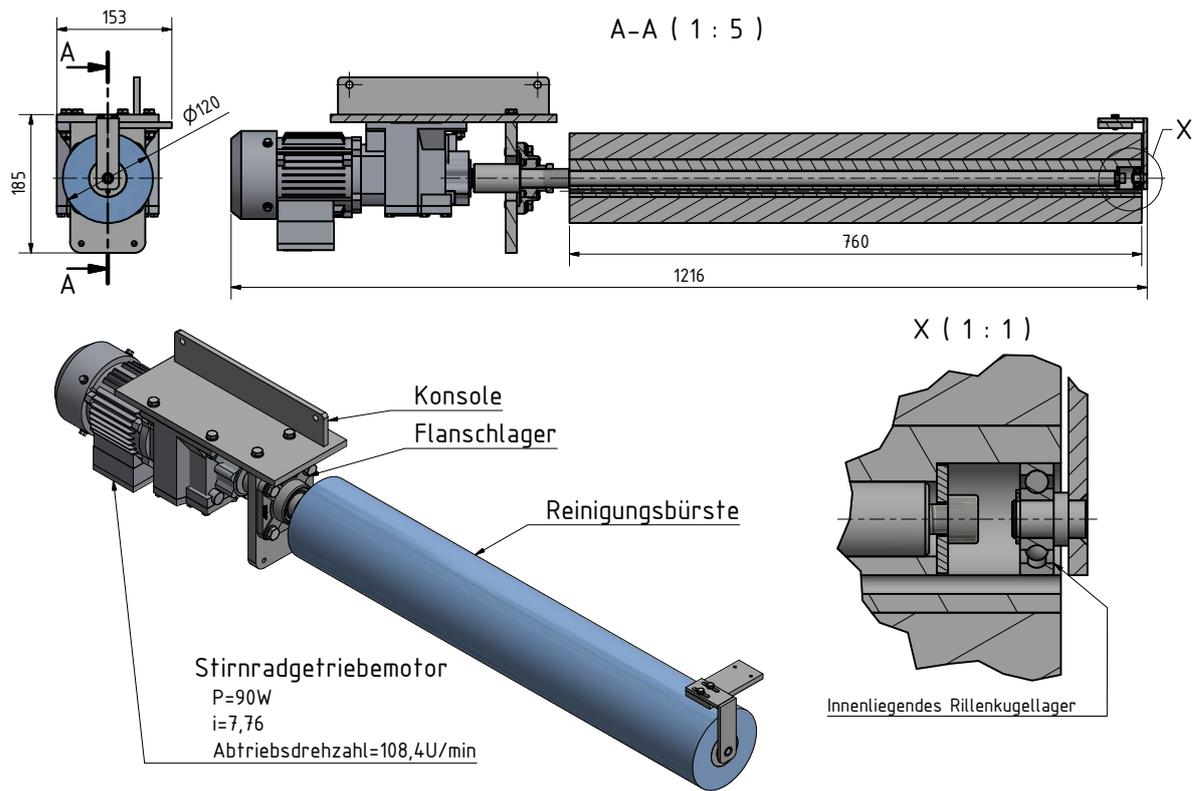


Abbildung 5.1: Reinigungsvorrichtung, Quelle: Eigene Darstellung.

6 Elektrik & Programmierung

Dieses Kapitel beinhaltet einen schematischen Ablaufplan für die Programmierung der Anlage.

Um die geforderte Zykluszeit einhalten zu können, ist keine Referenzfahrt zur Höhererkennung der Trockenrahmen-Stapel möglich. Die Stapelhöhe der Rahmen ist somit bei der Palettenzufuhr zu erkennen und im weiteren Verlauf nur mehr bei Anfahrt mit dem Greifer zu erkennen. Ursprünglich war vorgesehen auf einen Sensor zur Höhererkennung auf dem Greifer zu verzichten und durch stationäre Distanzsensoren kontinuierlich die Stapelhöhe zu ermitteln. Eine Rücksprache mit der Firma Wenglor ergab, dass Sensoren welche eine Genauigkeit von ± 1 mm auch bei unterschiedlichen Reflektionseigenschaften, bedingt durch Staub, bei einem Messbereich von 100 – 2000 mm, den Kostenrahmen sprengen würden. Insbesondere dadurch, dass vier Stück dieser Sensoren notwendig wären. Deshalb werden zur groben Höherermittlung der vier Stapel preiswertere Distanzsensoren vom Typ Wenglor OY2P303A0135 mit geringerer Genauigkeit verwendet. Die genaue Höherermittlung wird während der Greiferanfahrt durch einen Sensor am Greifer durchgeführt. Die seitliche Klemmung durch den Greifer zentriert die Rahmen, trotzdem wird der Greifer während der Anfahrt anhand der beiden seitlichen Sensoren präzise ausgerichtet.

Die Abbildungen 6.1 und 6.2 zeigen das verwendete Koordinatensystem des Greifers sowie des Knickarmroboters.

Aus Gründen der besseren Nachvollziehbarkeit werden in den Ablaufplänen des Kapitels 6.2 keine Variablen sondern die eingezeichneten Abmessungen verwendet.

Bei der Berechnung der anzufahrenden Koordinatenpunkte in den Ablaufplänen wurden nur die idealen Abmessungen des Greifers berücksichtigt. Fertigungstoleranzen und die genauen Auslösezeitpunkte der Sensoren erfordern jedoch eine Korrektur dieser Werte. Diese Abweichungen werden durch Korrektur-/Kalibrierwerte berücksichtigt, welche in den Ablaufplänen nicht dargestellt werden.

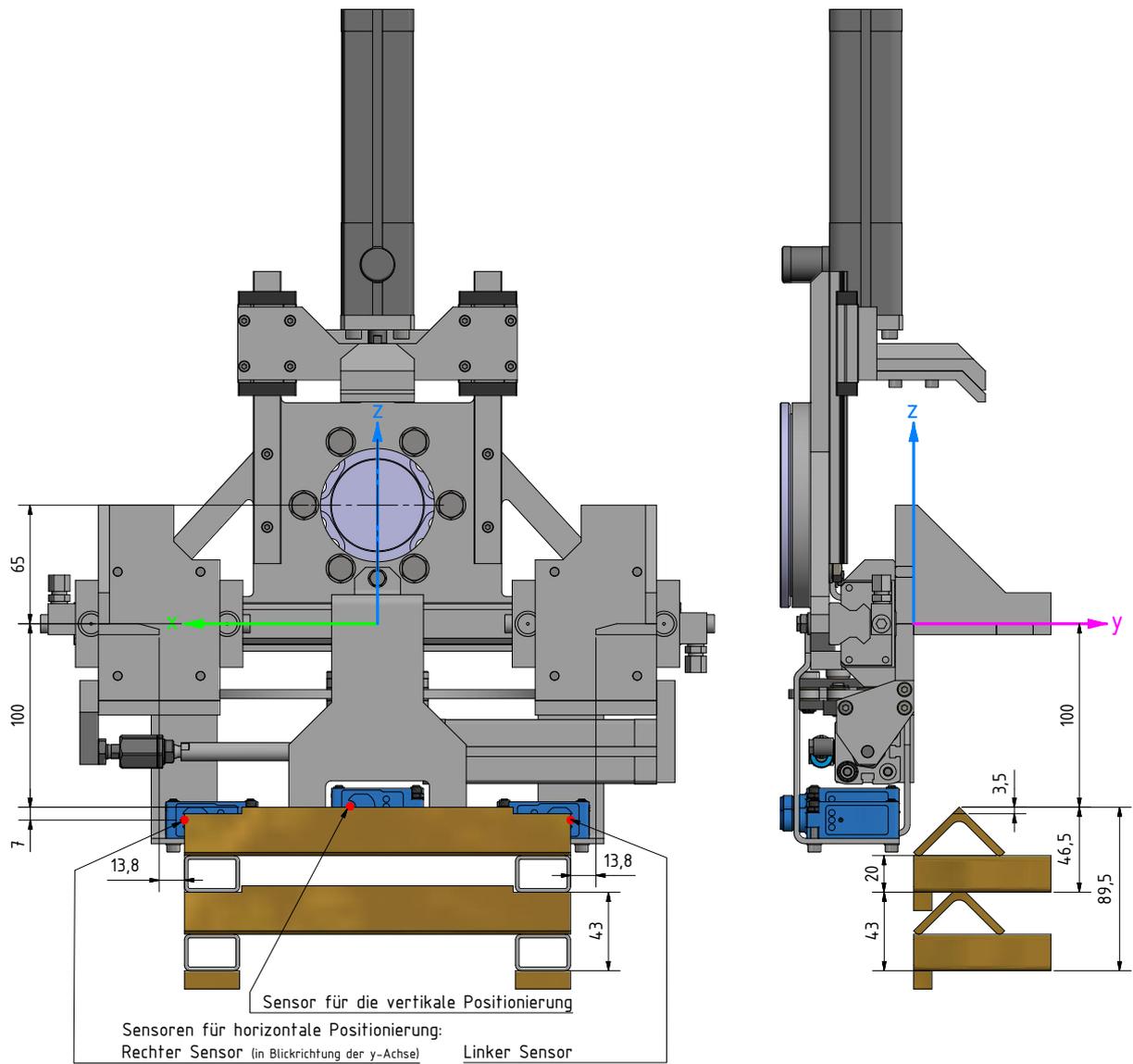


Abbildung 6.1: Greifer - Koordinatensystem, Quelle: Eigene Darstellung.

6 Elektrik & Programmierung

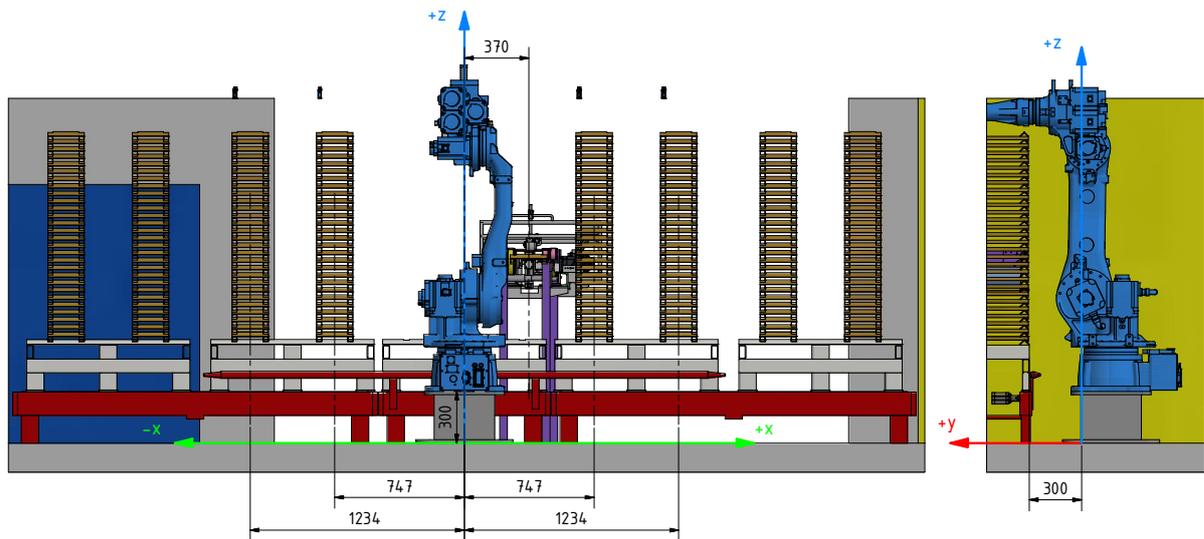


Abbildung 6.2: Koordinatensystem, Quelle: Eigene Darstellung.

Die in den folgenden Flussdiagrammen verwendeten Bezeichnungen für Sensoren und Aktoren, sind in der Abbildung 6.3 dargestellt.

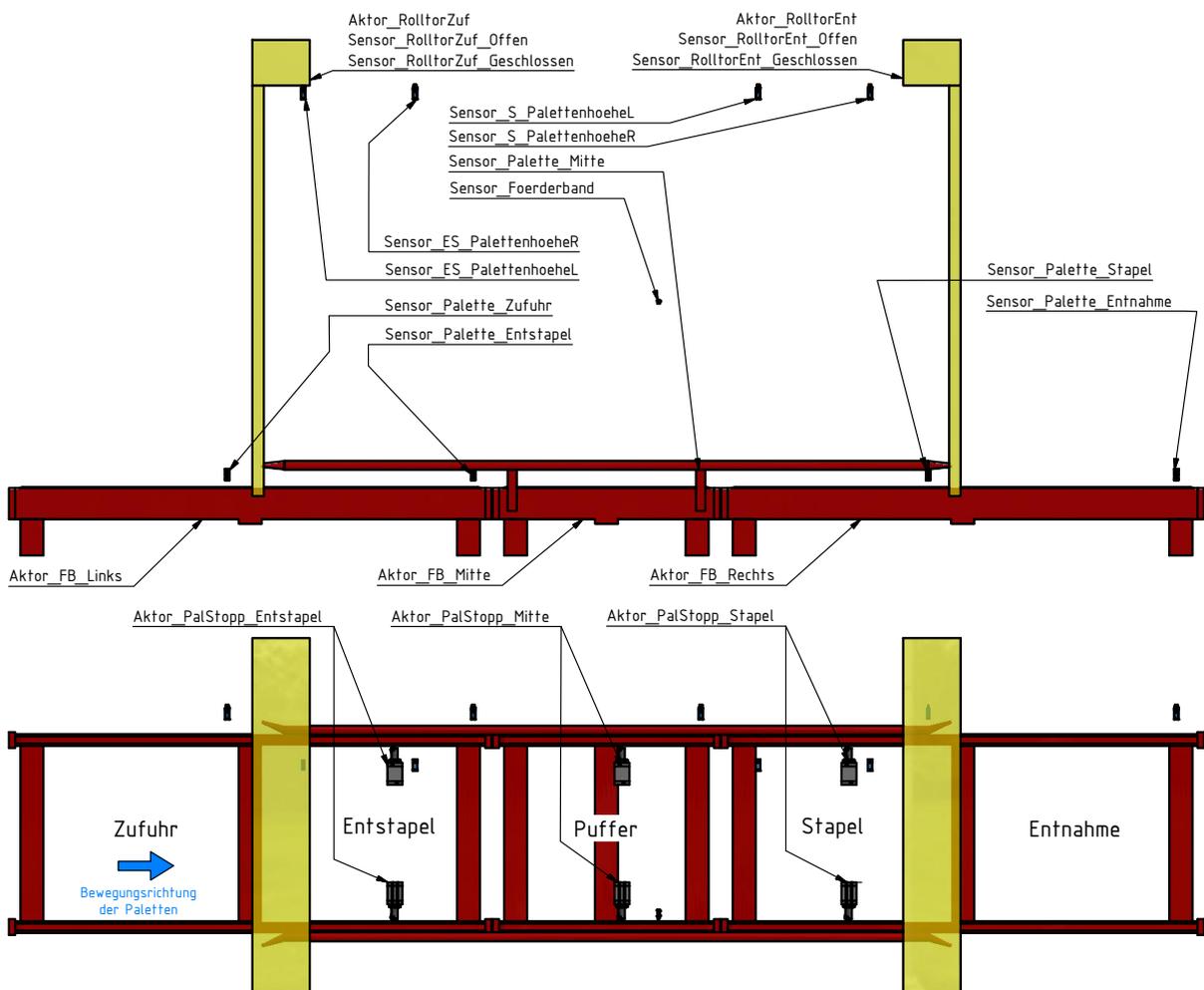


Abbildung 6.3: Übersicht - Sensorik und Aktorik, Quelle: Eigene Darstellung.

6.1 Symbolerklärung

Für die Darstellung des Programmablaufs werden Symbole in Anlehnung an die "DIN 66001-Sinnbilder für Datenfluß- und Programmablaufpläne", ergänzt durch eigene Symbolik, verwendet. Abbildung 6.4 zeigt die verwendeten Symbole.

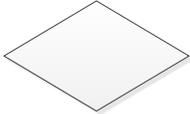
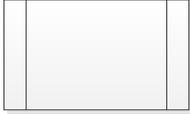
Verwendete Symbolik	
	Beginn/Ende eines Prozesses
	Bearbeiten, Tätigkeit, Operation
	Verzweigung/Entscheidung
	Aufruf eines Unterprogramms
	Daten, Ein- und Ausgabe
	Übergabe-, Verbindungsstelle
	Flusslinie
Text in grüner Farbe	Kommentar (nicht nach DIN 66001)
	Fehler/Aufforderung – Eingriff des Mitarbeiters erforderlich Anlagenstillstand (nicht nach DIN 66001)
	Definition eines Unterprogramms (nicht nach DIN 66001)

Abbildung 6.4: Symbole, Quelle: Eigene Darstellung.

6.2 Software Ablaufpläne

Der Ablauf wird in die einzelnen Prozessschritte unterteilt und in separaten Flussdiagrammen dargestellt.

Entstapeln

Beim Entstapeln werden ein oder zwei leere Trockenrahmen von den Stapeln des Metallgestells vom Greifer geklemmt und abgehoben. Dabei werden die Trockenrahmen immer vom höheren der beiden Stapel abgehoben. Während dem automatischen Weitertransport einer Palette in der Entstapelposition darf der Vorgang nicht ausgeführt werden. Die Anlage ist jedoch so ausgelegt, dass der Weitertransport rechtzeitig abgeschlossen ist, um Stillstände zu vermeiden. Nachdem der Greifer eine Position mit einem vertikalen Sicherheitsabstand zum nächsten Trockenrahmen erreicht hat, fährt dieser so lange abwärts bis der mittlere, am Greifer montierte, Sensor die Oberkante des Trockenrahmens erfasst. Aus der aktuellen z-Koordinate kann daraus die anzufahrende Position errechnet werden. Dabei muss unterschieden werden ob Leerrahmen gestapelt werden oder nicht. Um Zykluszeit zu sparen erfolgt die horizontale Positionierung des Greifers während dem Anfahren der z-Position. Die beiden seitlichen Sensoren sind am Greifer so ausgerichtet, dass sie, bei passender Positionierung, beide Kanten des Trockenrahmens erfassen. Weicht die Position des Trockenrahmens ab, verfehlt einer der Sensoren den Trockenrahmen. Der Greifer verfährt somit in die entgegengesetzte Richtung bis die richtige Position erreicht ist. Nach der Positionierung werden die neuen, verbesserten Koordinaten für die nächste Anfahrt gespeichert. Anschließend werden die Trockenrahmen gespannt und in die Endposition des Entstapelvorgangs verfahren. Die Abbildungen 6.5 und 6.6 veranschaulichen diesen Prozess. Die Tabelle 6.1 zeigt eine Übersicht der verwendeten Variablen.

<i>bol_Entstapel_freigabe</i>	Freigabe für das Entstapeln vorhanden, Ja/Nein
<i>E_L_x_Aktuell</i>	Aktuelle x-Position der linken Entstapelseite
<i>E_L/R_AktuelleHoehe</i>	Aktuelle Höhe des linken bzw. rechten Stapels
<i>E_R_x_Aktuell</i>	Aktuelle x-Position der rechten Entstapelseite
<i>E_Position</i>	Aktuelle Entstapelposition (Links oder Rechts)
<i>Sensor_Greifer_Distanz</i>	Signal des mittleren Distanzsensors am Greifer
<i>Sensor_Greifer_Links</i>	Signal des linken Distanzsensors am Greifer
<i>Sensor_Greifer_Rechts</i>	Signal des rechten Distanzsensors am Greifer
<i>y_Eingefahren</i>	y-Koordinate bei eingefahrenem Greifer
<i>z_min</i>	minimal zulässige z-Koordinate

Tabelle 6.1: Übersicht der verwendeten Variablen - Entstapeln

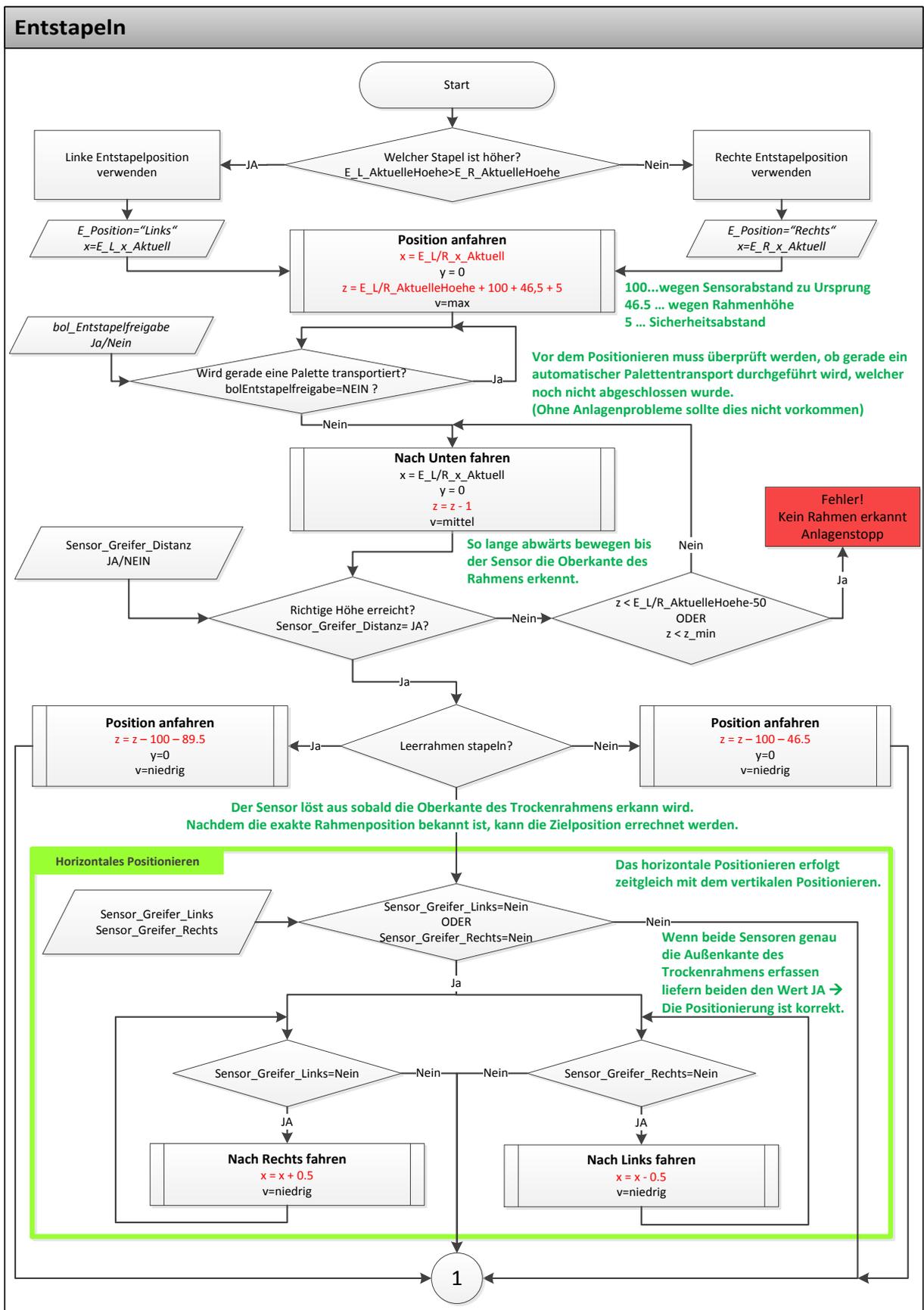


Abbildung 6.5: Entstapeln 1, Quelle: Eigene Darstellung.

Entstapeln

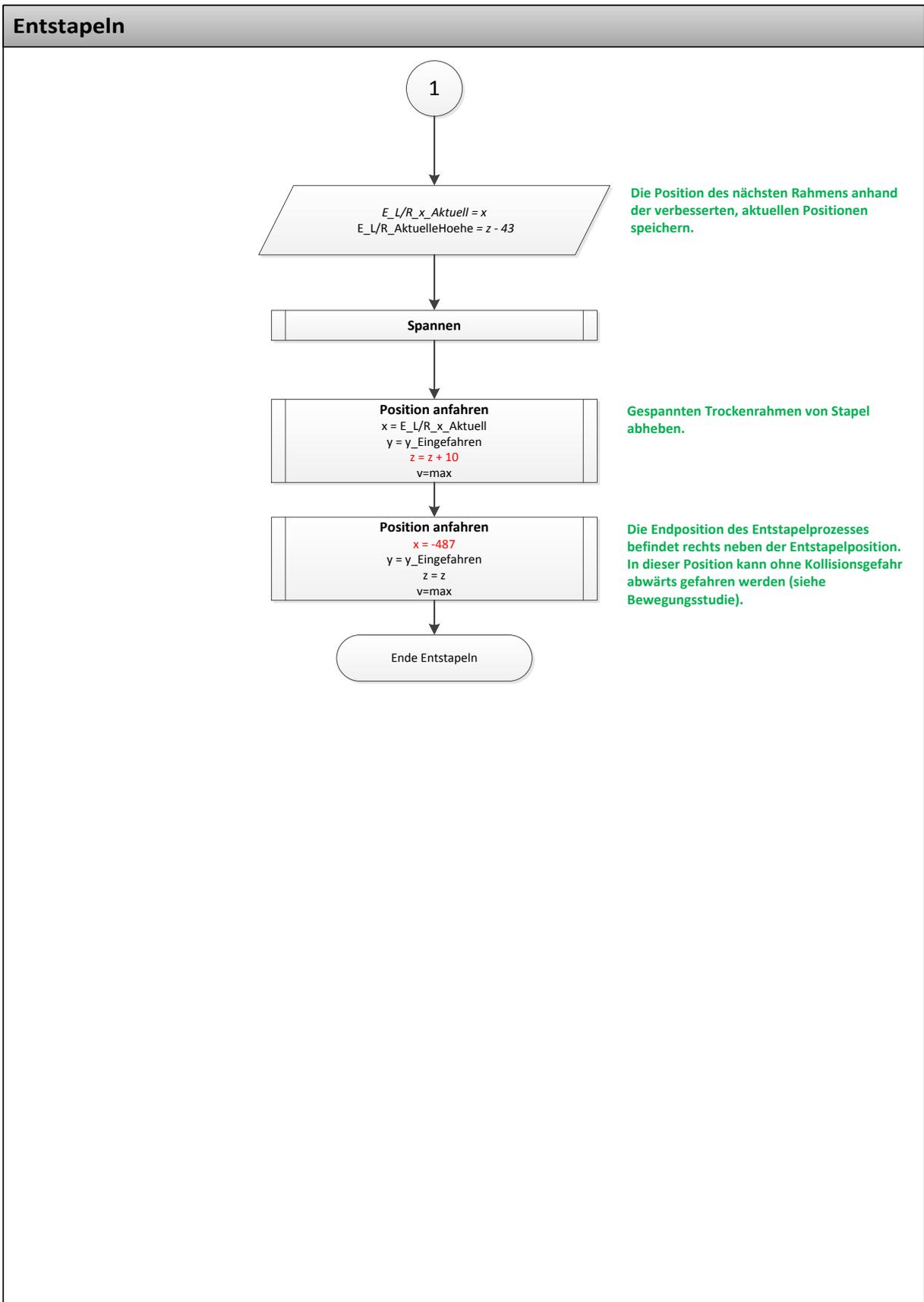


Abbildung 6.6: Entstapeln 2, Quelle: Eigene Darstellung.

Reinigung und Elektroden aufnehmen

Das Reinigen der Trockenrahmen erfolgt durch das Durchfahren einer rotierenden Walzenbürste. Durch Hochfahren zwischen den beiden Förderbändern werden die Elektroden aufgenommen. Die z-Koordinate beim Durchfahren der Reinigung muss an die Anzahl der geklemmten Trockenrahmen angepasst werden. Um Energie zu sparen, wird die Bürste erst kurz vor dem Durchfahren eingeschaltet und danach sofort ausgeschaltet. Nach der Reinigung wartet der Greifer mit den Trockenrahmen knapp unterhalb des Förderbands bis der Sensor (Sensor_Foerderband) signalisiert, dass die Elektroden die richtige Position zum Abheben erreicht haben. Der Prozess ist in Abbildung 6.7 dargestellt. Die Tabelle 6.2 zeigt eine Übersicht der verwendeten Variablen.

<i>Sensor_Foerderband</i>	Sensor, der die Elektrodengruppe über dem Greifer erfasst
<i>x_FoerderbandMitte</i>	x-Koordinate Förderbandmitte
<i>x_ReinigungStart</i>	x-Koordinate zu Beginn der Reinigung
<i>y_Eingefahren</i>	y-Koordinate bei eingefahrenem Greifer
<i>z_Foerderband_Warteposition</i>	z-Koordinate der Warteposition zwischen dem Förderband
<i>z_Offset</i>	z-Verschiebung beim Klemmen von zwei Trockenrahmen
<i>z_ReinigungStart</i>	z-Koordinate zu Beginn der Reinigung

Tabelle 6.2: Übersicht der verwendeten Variablen - Reinigung und Elektroden aufnehmen

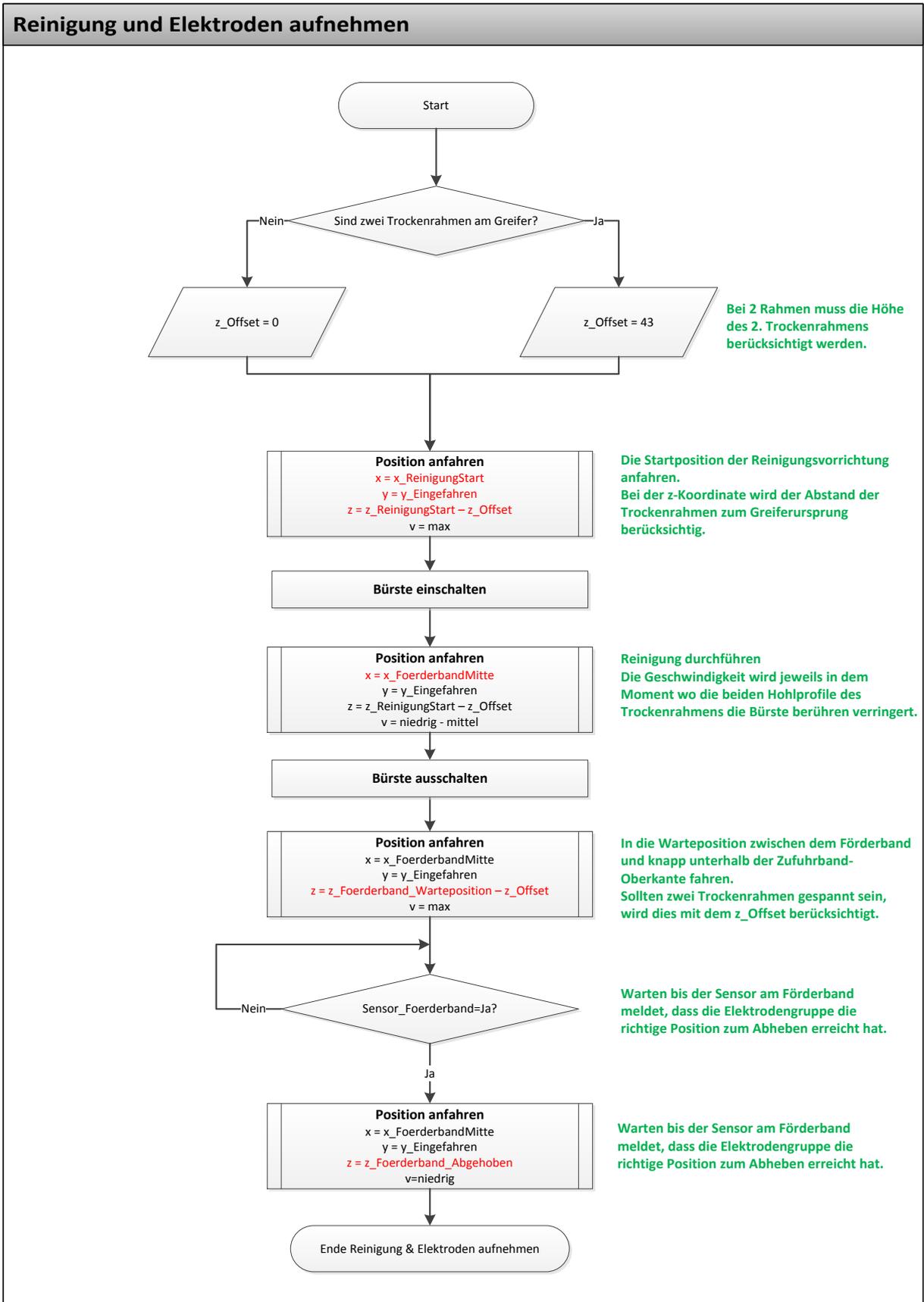


Abbildung 6.7: Reinigung und Elektroden aufnehmen, Quelle: Eigene Darstellung.

Stapeln

Beim Stapelvorgang werden die, mit Elektroden belegten Trockenrahmen, in zwei Stapel gleicher Höhe auf dem Metallgestell abgelegt. Abhängig von welchem Stapel entstapelt wurde, werden die Trockenrahmen auf den linken oder rechten Stapel abgelegt. Vor der Anfahrt der Stapelposition muss ermittelt werden ob die Höhe des Stapels die des Förderbands überschritten hat. Trifft dies zu, muss vor dem Anfahren noch vertikal nach oben verfahren werden, um eine Kollision zu vermeiden. Während der Abwärtsbewegung wird, wie beim Entstapelvorgang, die korrekte Ablegehöhe durch den mittleren Sensor ermittelt. Die seitliche Positionierung erfolgt ebenfalls während dem Verfahren in vertikaler Richtung. Je nachdem ob ein oder zwei Trockenrahmen gestapelt wurden, wird die Ablegeposition für den nächsten Stapelvorgang berechnet. Der beschriebene Vorgang ist in den Abbildungen 6.8 und 6.9 ersichtlich. Die Tabelle 6.3 zeigt eine Übersicht der verwendeten Variablen.

<i>bol_StapelFreigabe</i>	Freigabe für das Stapeln vorhanden, Ja/Nein
<i>E_Position</i>	Aktuelle Entstapelposition (Links oder Rechts)
<i>S_L_x</i>	x-Koordinate der linken Stapelposition
<i>S_L/R_AktuelleHoehe</i>	Aktuelle Höhe des linken bzw. rechten Stapels
<i>S_R_x</i>	x-Koordinate der rechten Stapelposition
<i>Sensor_Greifer_Distanz</i>	Signal des mittleren Distanzsensors am Greifer
<i>Sensor_Greifer_Links</i>	Signal des linken Distanzsensors am Greifer
<i>Sensor_Greifer_Rechts</i>	Signal des rechten Distanzsensors am Greifer
<i>x_Stapeln</i>	x-Position des nächsten Stapelvorgangs
<i>y_Einfahrlaenge</i>	y-Koordinate bei eingefahrenem Greifer
<i>z_min</i>	minimal zulässige z-Koordinate
<i>z_StapelnGrenzhoehe</i>	z-Koordinate der Grenzhöhe ab der, vor dem Stapeln, nach oben verfahren werden muss

Tabelle 6.3: Übersicht der verwendeten Variablen - Stapeln

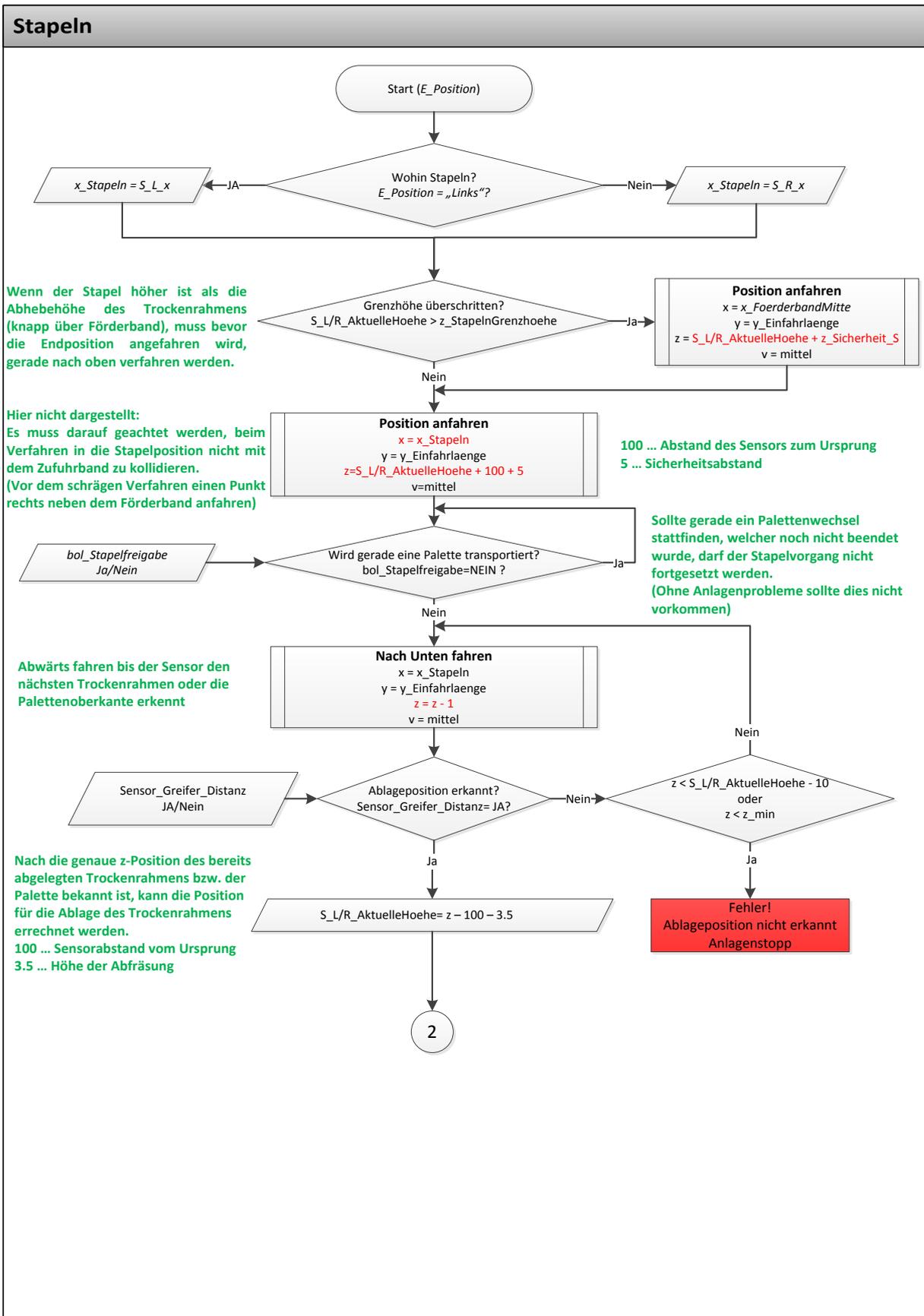


Abbildung 6.8: Stapeln 1, Quelle: Eigene Darstellung.

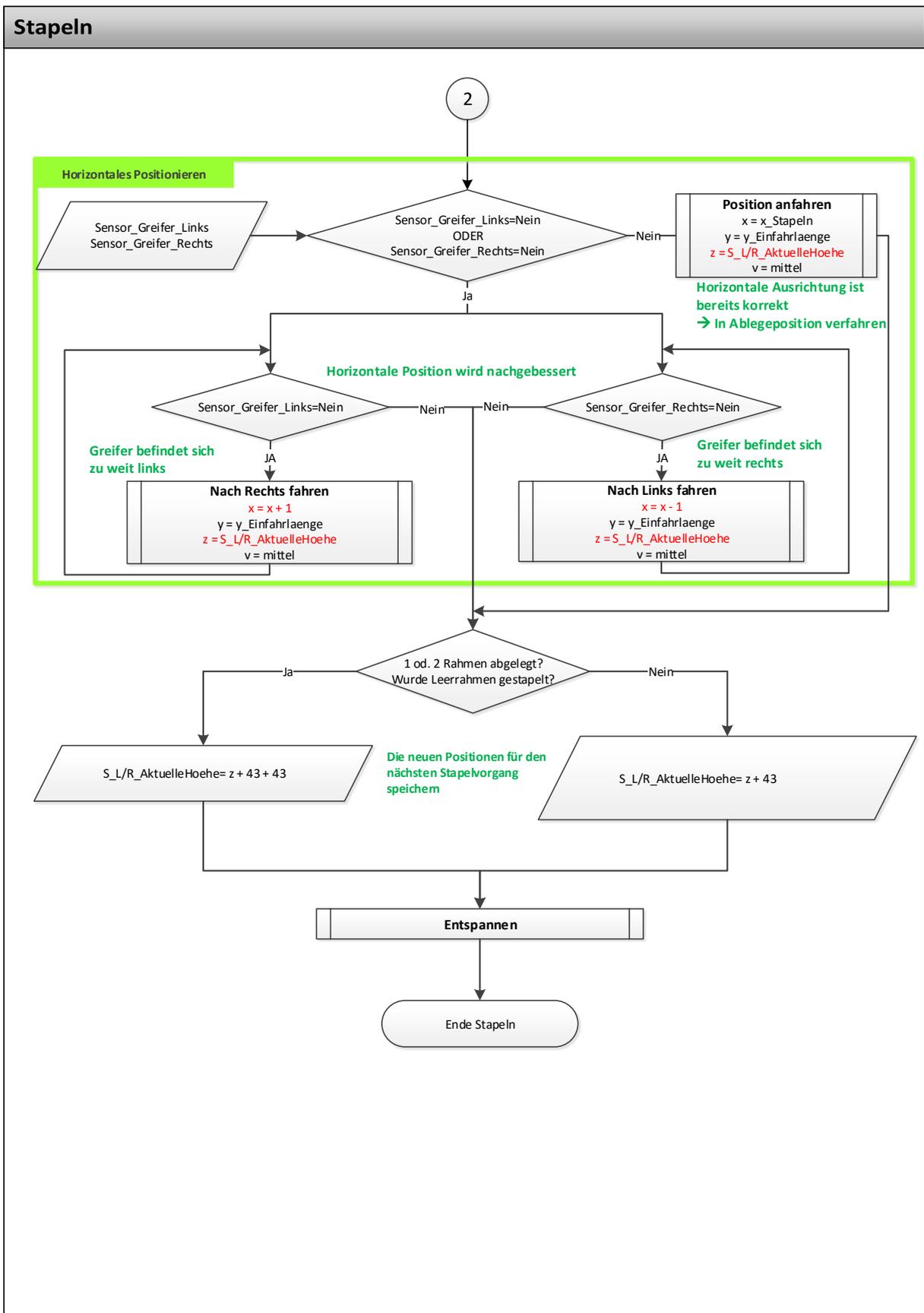


Abbildung 6.9: Stapeln 2, Quelle: Eigene Darstellung.

Spannen und Entspannen

Vor dem Spannen befindet sich der Greifer in y-Richtung vor dem Trockenrahmen ohne mit diesem kollidieren zu können. Während dem Spann-Prozess (Ablaufdiagramm in Abbildung 6.10) fährt der Greifer in y-Richtung in den Stapel der Trockenrahmen ein. Danach werden die beiden Pneumatikzylinder des Greifers, welche die Trockenrahmen klemmen, ausgefahren. Dabei wird mittels Sensoren überprüft ob die Endposition erreicht wurde. Um im Falle eines Fehlers den Vorgang abubrechen, müssen die Endpositionen innerhalb von 0,7 s erreicht werden. Beim Entspannen (Ablaufdiagramm in Abbildung 6.11) werden die Zylinder eingefahren. Danach verfährt der Greifer in negativer y-Richtung aus dem Trockenrahmen-Stapel aus. Die Tabelle 6.4 zeigt eine Übersicht der verwendeten Variablen.

<i>bol_Leerrahmen</i>	Gibt an ob zwei Trockenrahmen gespannt werden
<i>Sensor_Greifer_Hub_0</i>	Endlagensensor für den geöffneten Zustand
<i>Sensor_Greifer_Hub_1</i>	Endlagensensor beim Spannen von einem Trockenrahmen
<i>Sensor_Greifer_Hub_2</i>	Endlagensensor beim Spannen von zwei Trockenrahmen
<i>y_Eingefahren</i>	y-Koordinate bei eingefahrenem Greifer

Tabelle 6.4: Übersicht der verwendeten Variablen - Spannen und Entspannen

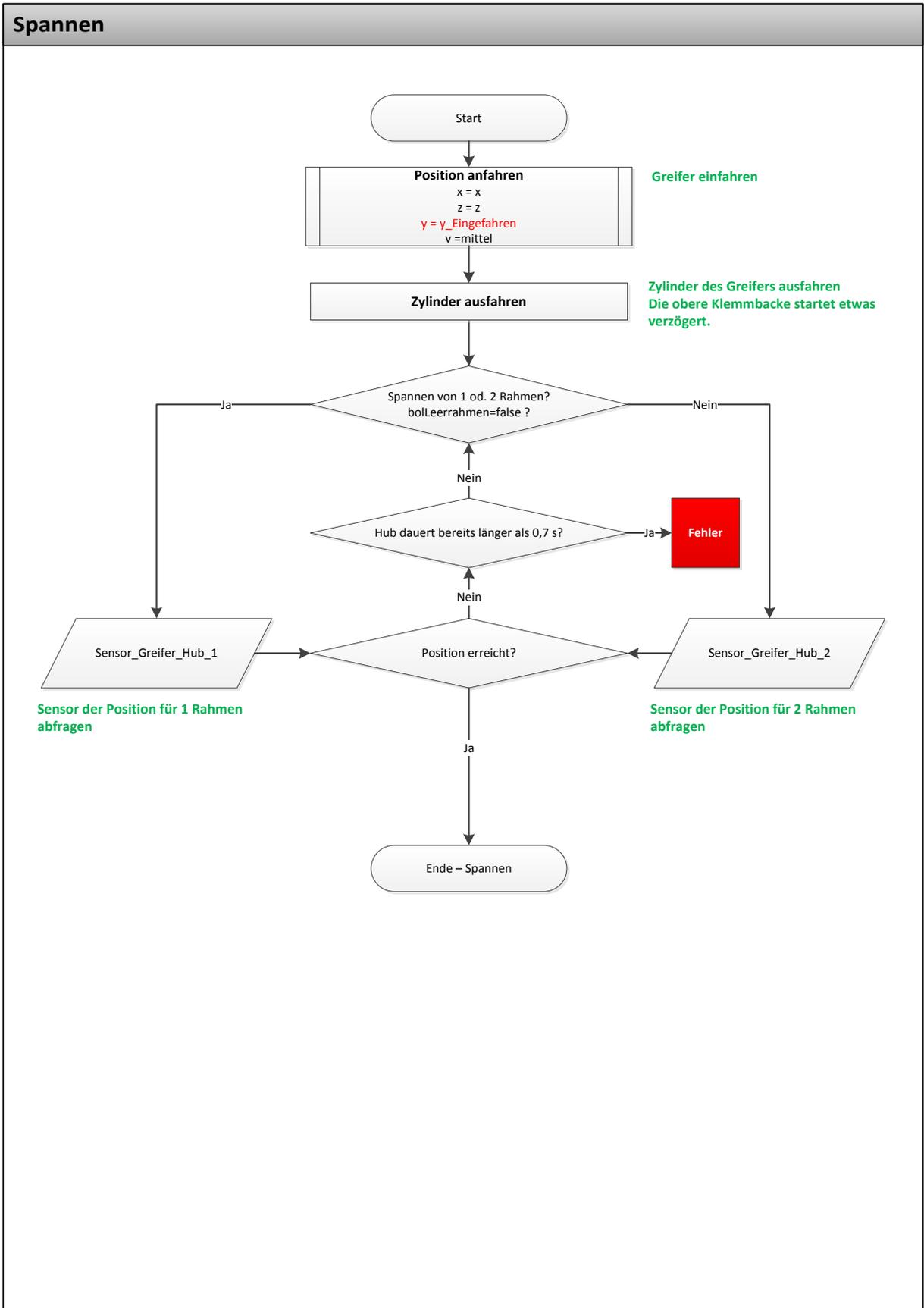


Abbildung 6.10: Spannen, Quelle: Eigene Darstellung.

Entspannen

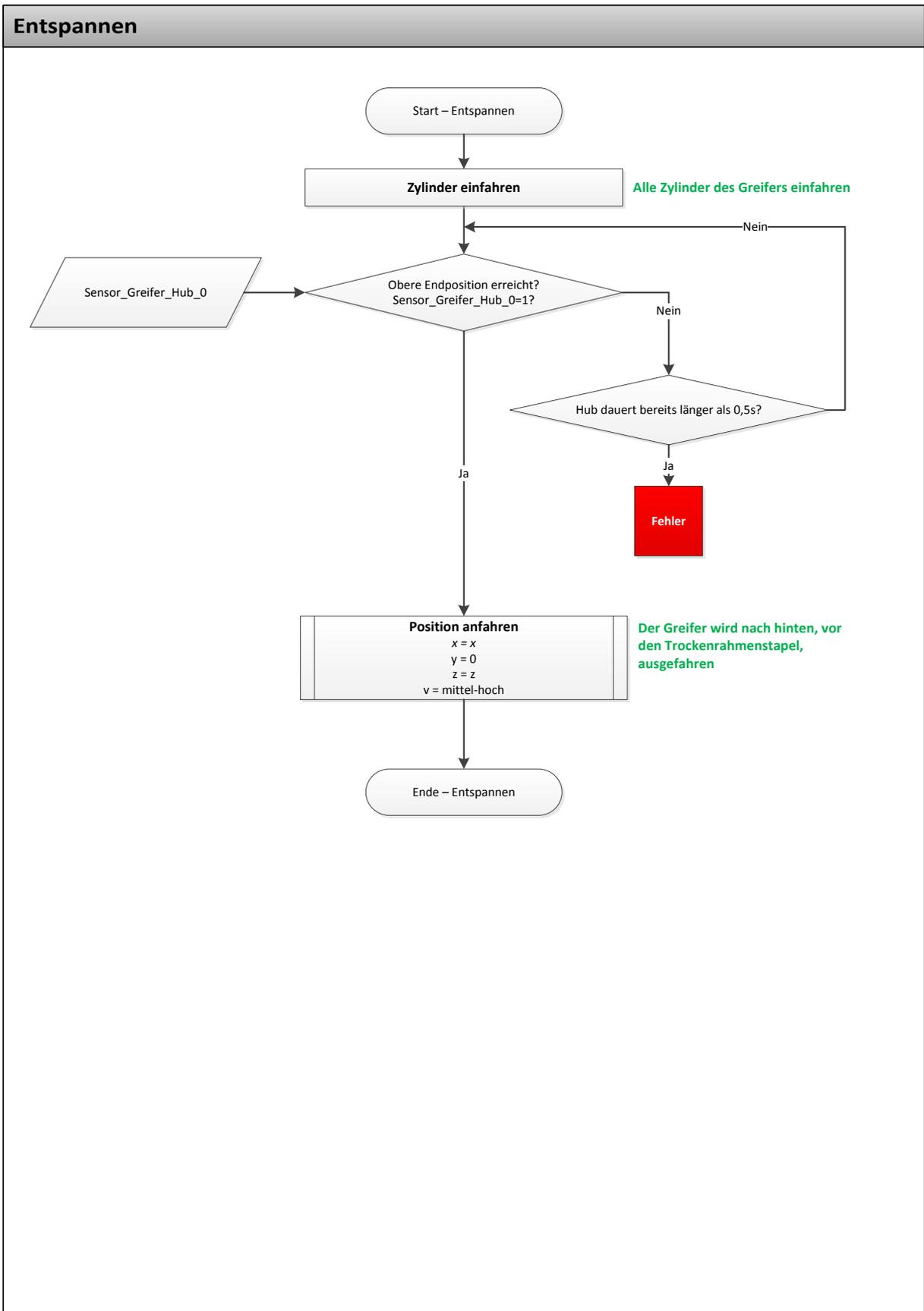


Abbildung 6.11: Entspannen, Quelle: Eigene Darstellung.

Leere Entstapelposition

Die Abbildungen 6.12 und 6.13 zeigen das Ablaufdiagramm für den Fall, dass sich keine Trockenrahmen an der Entstapelposition befinden. Dabei muss die leere Palette in die mittlere Puffer-Position und eine neue, mit leeren Trockenrahmen befüllte, Palette von der Zufuhr- in die Entstapelposition transportiert werden. Bevor die Kettenförderer für den Weitertransport eingeschaltet werden, muss sichergestellt sein, dass der Sicherheitszaun der Zufuhrposition geschlossen ist, die Mittelposition leer steht, sowie eine neue Palette in der Zufuhrposition vorhanden ist. Sobald die Paletten die Sensoren für die Belegungserkennung der einzelnen Palettenplätze erreicht haben, werden die Stopperzylinder ausgefahren. Um die korrekte Positionierung der Paletten an den Anschlägen sicherzustellen, werden die Antriebe erst nach einer Wartezeit von einer Sekunde ausgeschaltet. Durch das Setzen der Variable 'bol_Entstapelfreigabe' auf Nein wird dem Knickarmroboter mitgeteilt, dass ein Entstapeln während dem Palettentransport nicht erlaubt ist. Zuletzt müssen die Variablen für die aktuelle Stapelhöhe und Anfahrposition zurückgesetzt werden und die Freigabe für die Entstapelung erteilt werden. Die Tabelle 6.5 zeigt eine Übersicht der verwendeten Variablen.

<i>Aktor_FB_Links</i>	Förderband - Links
<i>Aktor_FB_Mitte</i>	Förderband - Mitte
<i>Aktor_PalStopp_Entstapel</i>	Stopperzylinder - Entstapelposition
<i>Aktor_PalStopp_Mitte</i>	Stopperzylinder - Mitte/Pufferposition
<i>bol_Entstapel_freigabe</i>	Freigabe für das Entstapeln vorhanden, Ja/Nein
<i>E_L_AktuelleHoehe</i>	Aktuelle Höhe des linken Stapels
<i>E_L_x_Aktuell</i>	Aktuelle x-Position der linken Entstapelseite
<i>E_R_AktuelleHoehe</i>	Aktuelle Höhe des rechten Stapels
<i>E_R_x_Aktuell</i>	Aktuelle x-Position der rechten Entstapelseite
<i>Sensor_ES_Palettenhoehe_L</i>	Sensor zum Erkennen der Stapelhöhe - Linker Stapel
<i>Sensor_ES_Palettenhoehe_R</i>	Sensor zum Erkennen der Stapelhöhe - Rechter Stapel
<i>Sensor_Palette_Entstapel</i>	Sensor zum Erkennen einer Palette - Entstapelposition
<i>Sensor_Palette_Mitte</i>	Sensor zum Erkennen einer Palette - Mitte/Puffer
<i>Sensor_Palette_Zufuhr</i>	Sensor zum Erkennen einer Palette - Zufuhrposition
<i>Sensor_RolltorZuf_Offen</i>	Sensor des Rolltors der Zufuhrseite
<i>Sicherheitszaun_E</i>	Sensor des Sicherheitszauns der Entstapelseite

Tabelle 6.5: Übersicht der verwendeten Variablen - Leere Entstapelposition

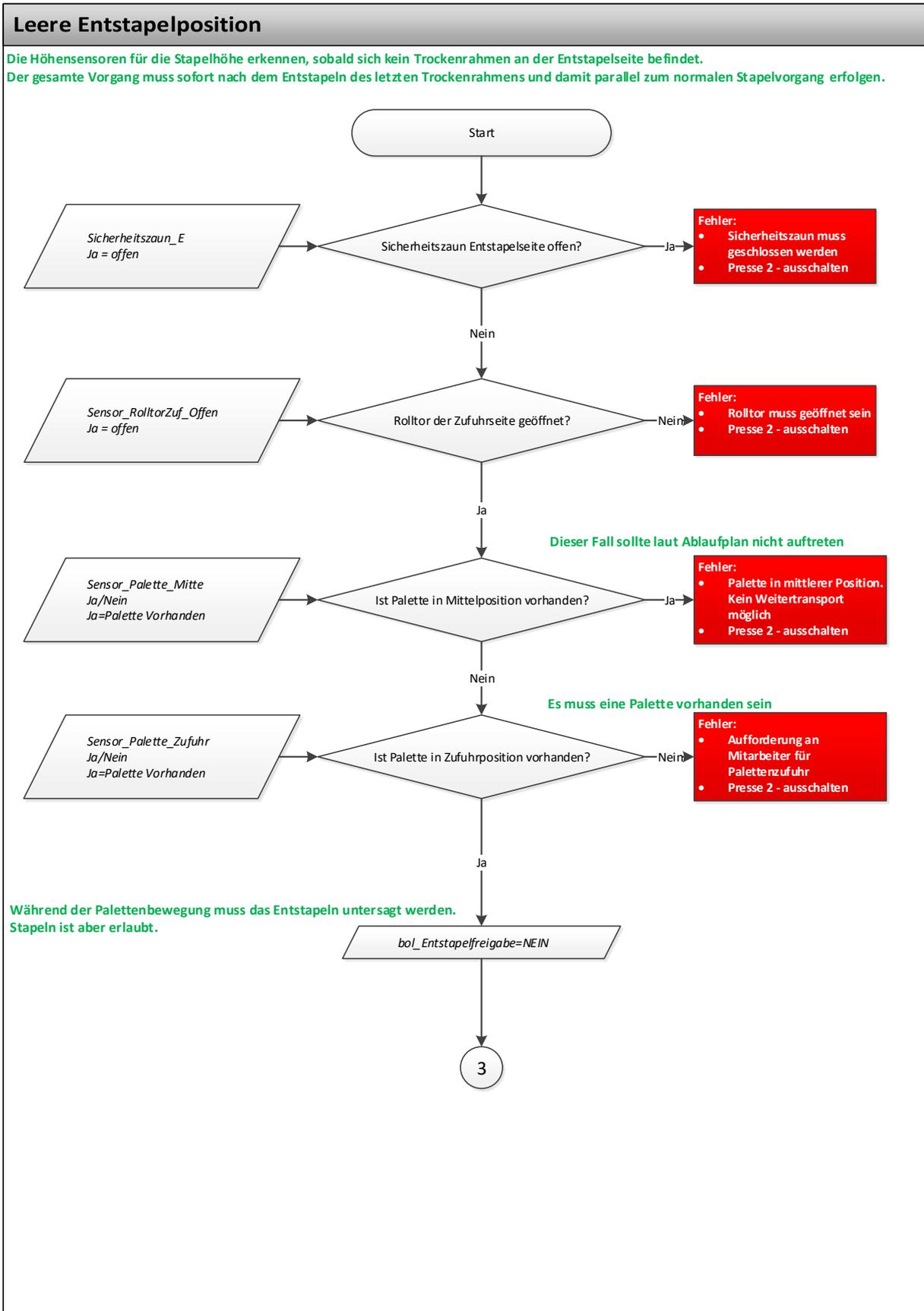


Abbildung 6.12: Leere Entstapelposition 1, Quelle: Eigene Darstellung.

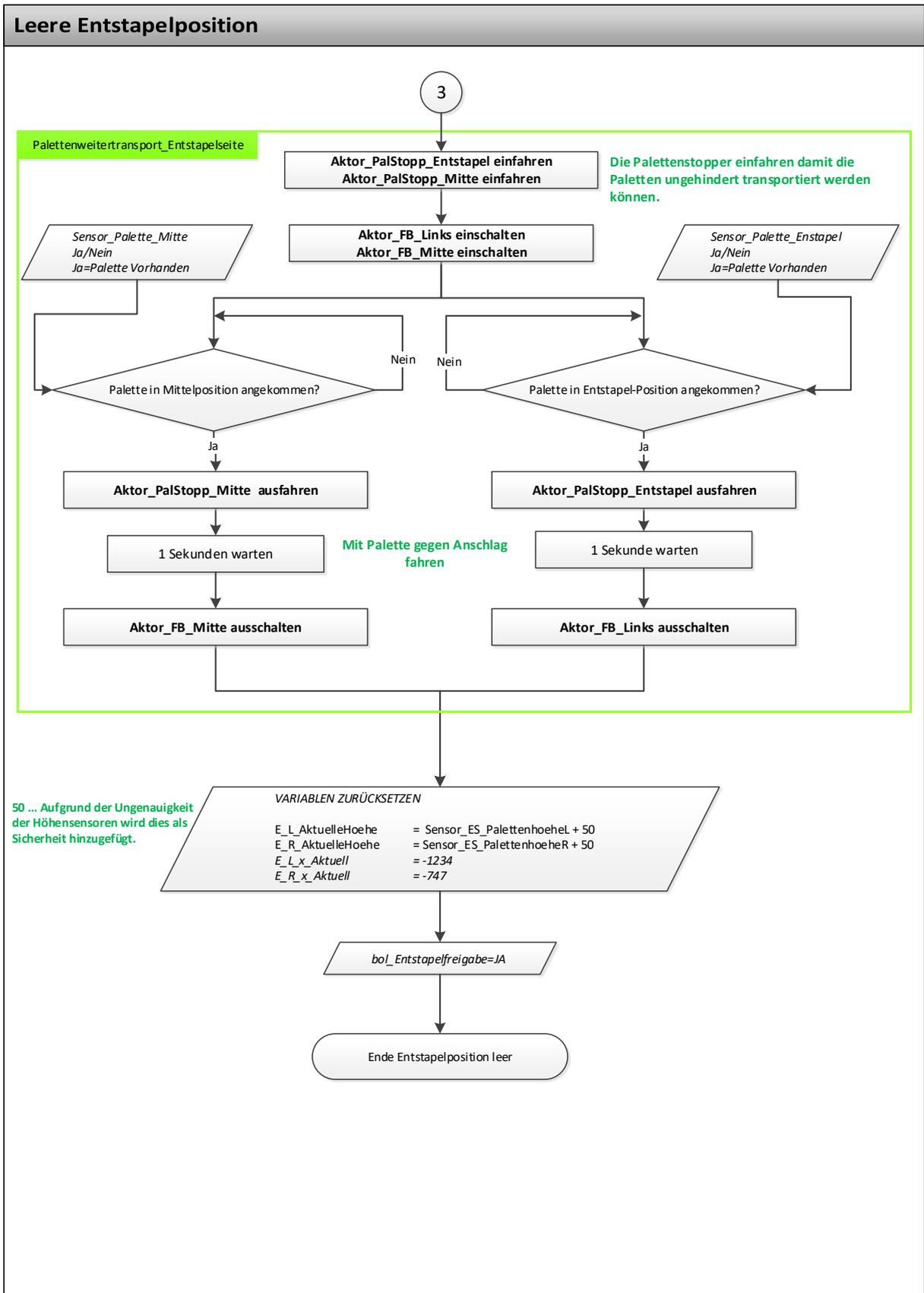


Abbildung 6.13: Leere Entstapelposition 2, Quelle: Eigene Darstellung.

Volle Stapelposition

Sobald 56, mit Elektroden befüllte, Trockenrahmen gestapelt wurden, muss die volle Palette ausgegeben und eine leere Palette aus der Puffer-Position weitertransportiert werden. Zuvor muss überprüft werden, ob der Sicherheitszaun geschlossen und das Rolltor geöffnet ist. Weiters muss eine Palette in der Puffer-Position vorhanden sein und die Entnahmeposition frei sein. Das Stapeln während dem Palettenweitertransport wird, durch das Setzen der Variable 'bol_Stapelfreigabe' auf Nein, blockiert. Anschließend werden das mittlere und das rechte Förderband eingeschaltet. Sobald die entsprechenden Sensoren die Paletten in der richtigen Position erkennen, werden die Zylinder als Anschlag für die Paletten ausgefahren. Nach einer Wartezeit von einer Sekunde werden die Kettenförderer ausgeschaltet und die Anlage für das Stapeln freigegeben. Die Abbildungen 6.14 und 6.15 veranschaulichen diesen Ablauf. Die Tabelle 6.6 zeigt eine Übersicht der verwendeten Variablen.

<i>Aktor_FB_Mitte</i>	Förderband - Mitte
<i>Aktor_FB_Rechts</i>	Förderband - Rechts
<i>Aktor_PalStopp_Mitte</i>	Stopperzylinder - Mitte/Pufferposition
<i>Aktor_PalStopp_Stapel</i>	Stopperzylinder - Stapelposition
<i>bol_StapelFreigabe</i>	Freigabe für das Stapeln vorhanden, Ja/Nein
<i>S_L_AktuelleHoehe</i>	Aktuelle Höhe des linken Stapels
<i>S_R_AktuelleHoehe</i>	Aktuelle Höhe des rechten Stapels
<i>S_StartHoehe</i>	z-Koordinate bei leerer Palette
<i>Sensor_Palette_Entnahme</i>	Sensor zum Erkennen einer Palette - Entnahmeposition
<i>Sensor_Palette_Mitte</i>	Sensor zum Erkennen einer Palette - Mitte/Puffer
<i>Sensor_Palette_Stapel</i>	Sensor zum Erkennen einer Palette - Stapelposition
<i>Sensor_RolltorEnt_Offen</i>	Sensor des Rolltors der Entnahmeseite
<i>Sicherheitszaun_S</i>	Sensor des Sicherheitszauns der Stapelseite

Tabelle 6.6: Übersicht der verwendeten Variablen - Volle Stapelposition

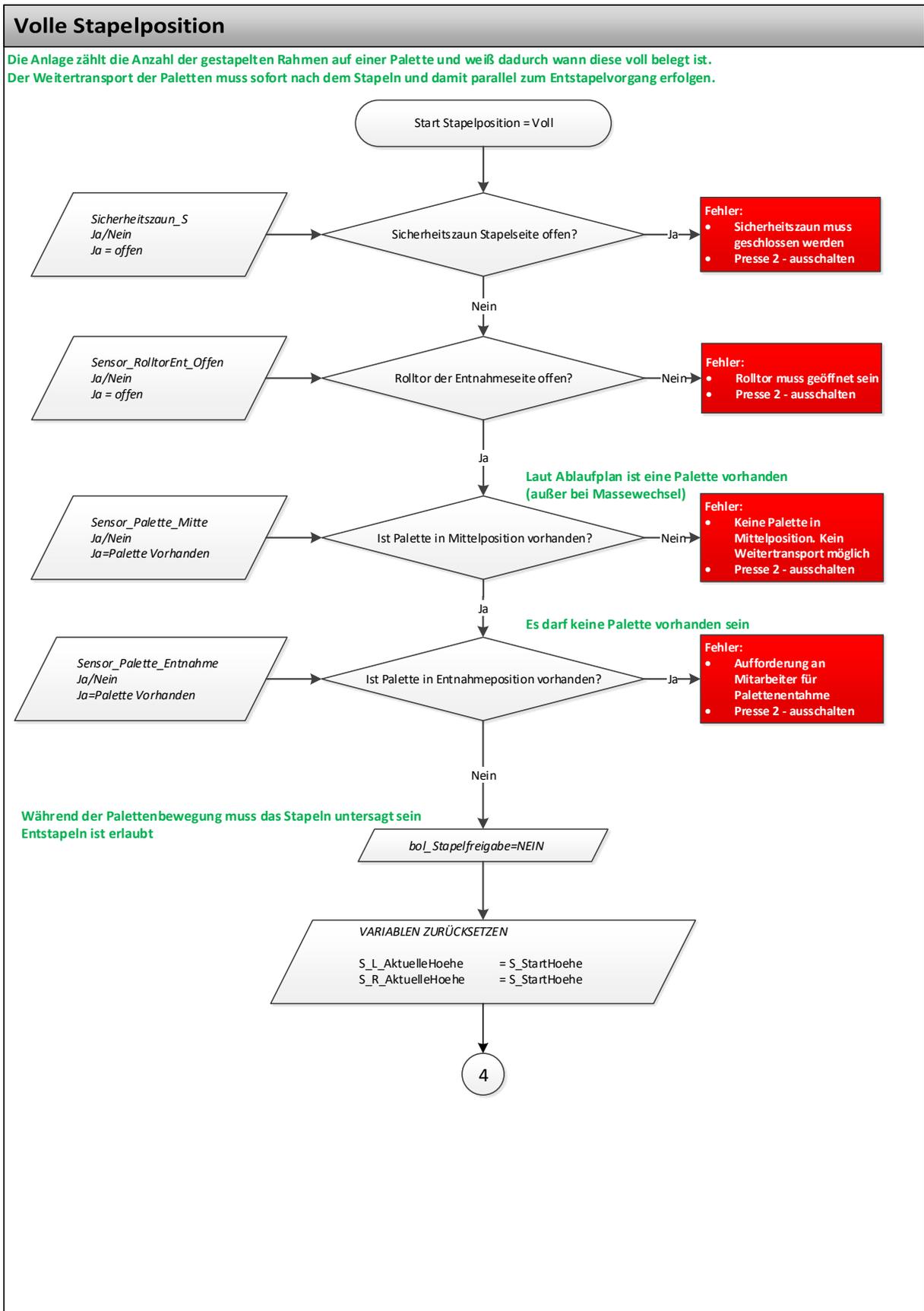


Abbildung 6.14: Volle Stapelposition 1, Quelle: Eigene Darstellung.

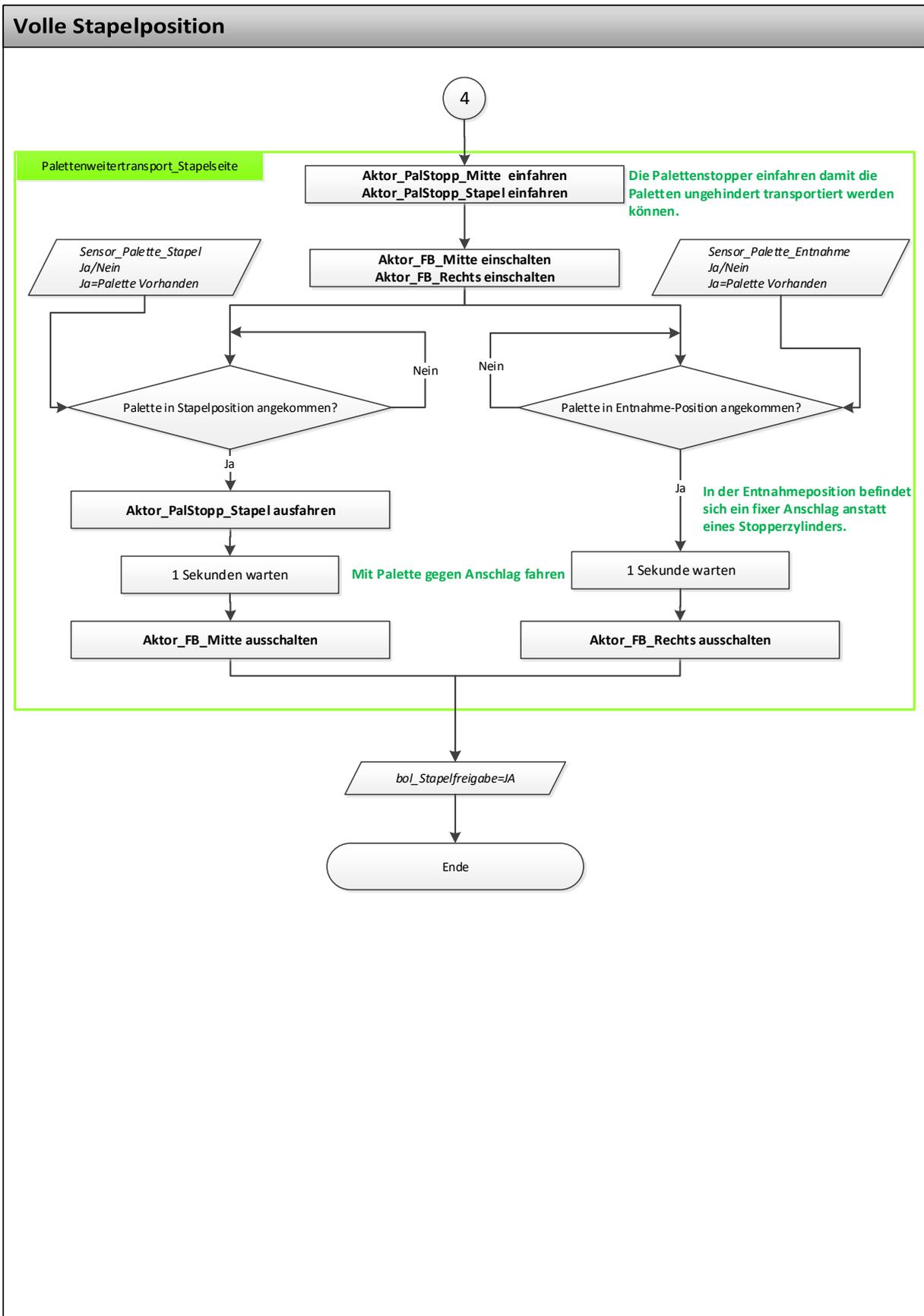


Abbildung 6.15: Volle Stapelposition 2, Quelle: Eigene Darstellung.

Massewechsel

Während eines Massenwechsels steht die gesamte Anlage aufgrund von Reinigungs- und Umrüstarbeiten still. Tätigkeiten des Mitarbeiters an der Anlage, welche einen Stillstand erfordern, sind somit ohne weiteren Produktivitätsverlust möglich.

Sobald der Mitarbeiter am Touchpanel den Massewechsel initiiert, wird die Elektrodenpresse ausgeschaltet. Die Palette, welche im Normalfall nicht komplett befüllt ist, wird zur Entnahmeposition transportiert. Befindet sich in der Mittelposition eine leere Palette, wird diese in die Stapelposition transportiert und der Massewechsel ist abgeschlossen. Ist die Pufferposition jedoch leer, muss der Mitarbeiter nach dem Entnehmen der befüllten Palette eine leere Palette ohne Trockenrahmen an der Entnahmeposition zuführen. Dabei werden dem Mitarbeiter die erforderlichen Schritte am Touchpanel der Anlage angezeigt. Die Anlage transportiert die Palette anschließend automatisch in die Stapelposition, wo zur Sicherheit geprüft wird, ob die vom Mitarbeiter zugeführte Palette leer ist. Die Abbildungen 6.16 und 6.17 zeigen diesen Ablauf. Die Tabelle 6.7 zeigt eine Übersicht der verwendeten Variablen.

<i>Aktor_FB_Mitte</i>	Förderband - Mitte
<i>Aktor_FB_Rechts</i>	Förderband - Rechts
<i>Aktor_PalStopp_Stapel</i>	Stopperzylinder - Stapelposition
<i>Sensor_Palette_Entnahme</i>	Sensor zum Erkennen einer Palette - Entnahmeposition
<i>Sensor_Palette_Mitte</i>	Sensor zum Erkennen einer Palette - Mitte/Puffer
<i>Sensor_Palette_Stapel</i>	Sensor zum Erkennen einer Palette - Stapelposition
<i>Sensor_S_Palettenhoehe_L</i>	Sensor zum Erkennen der Stapelhöhe - Linker Stapel
<i>Sensor_S_Palettenhoehe_R</i>	Sensor zum Erkennen der Stapelhöhe - Rechter Stapel
<i>Sicherheitszaun_S</i>	Sensor des Sicherheitszauns der Stapelseite

Tabelle 6.7: Übersicht der verwendeten Variablen - Massewechsel

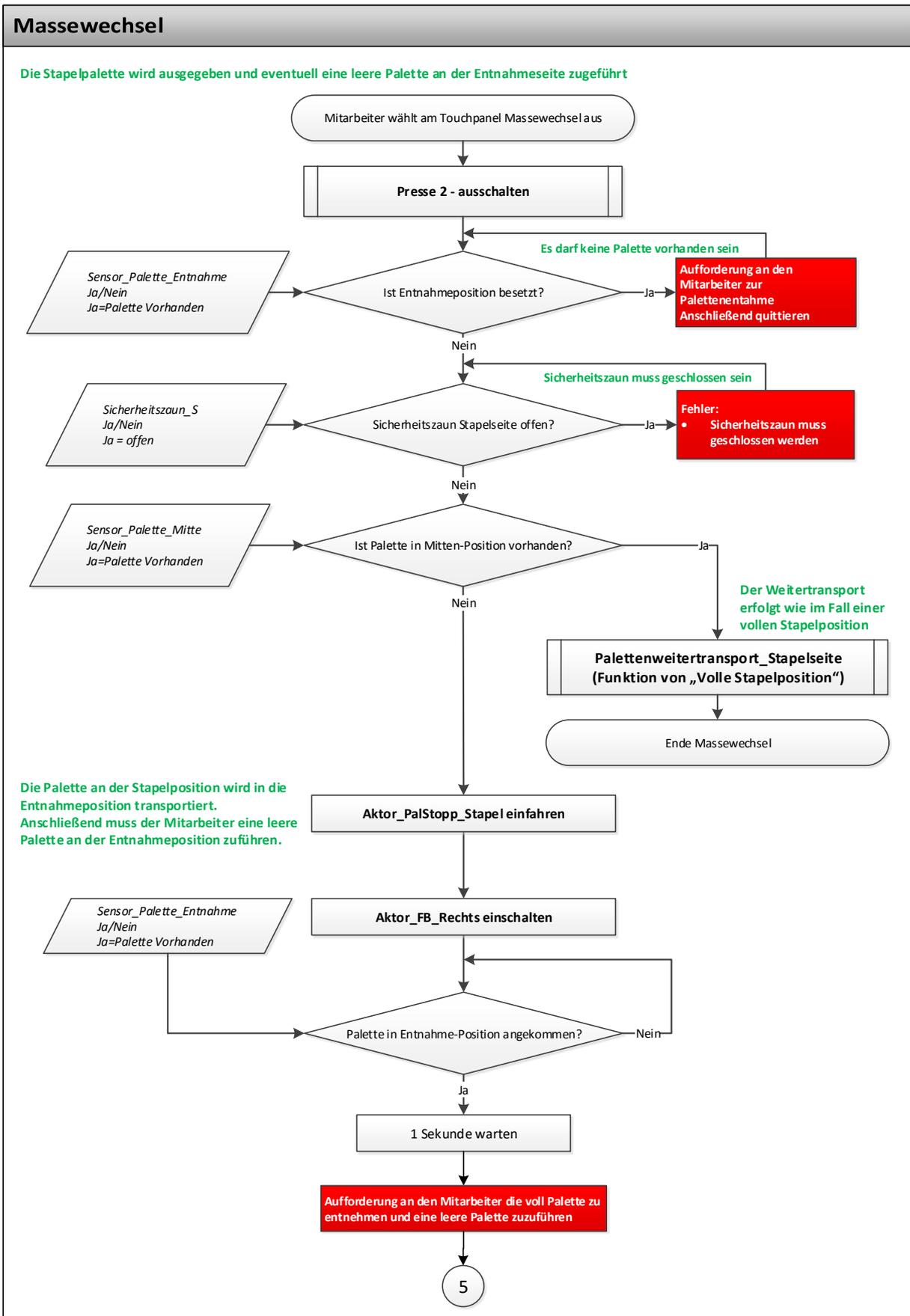


Abbildung 6.16: Massewechsel 1, Quelle: Eigene Darstellung.

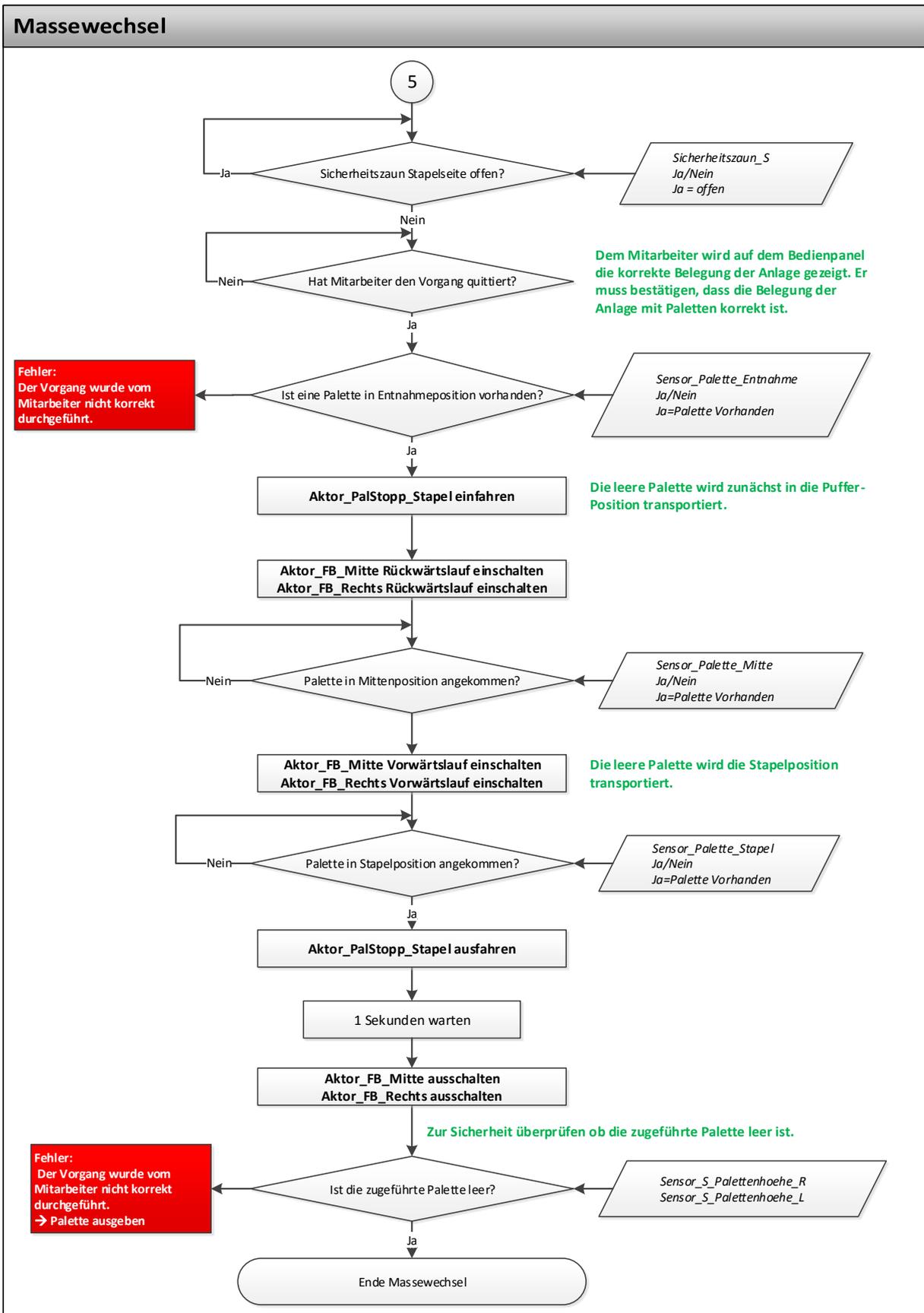


Abbildung 6.17: Massewechsel 2, Quelle: Eigene Darstellung.

Zutrittsregelung

Für die Zufuhr sowie den Abtransport der Paletten muss der Mitarbeiter die Anlage betreten. Um das Kippen von Trockenrahmen in den vom Mitarbeiter betretenen Bereich bei einer Fehlfunktion der Anlage zu verhindern, wird dieser durch ein Rolltor getrennt. Das Rolltor ist im Normalbetrieb geöffnet um den automatischen Weitertransport der Paletten nicht zu behindern und wird nur während dem Zutritt geschlossen. Dabei wird jeweils nur das Rolltor des zu betretenden Bereichs geschlossen. Sobald ein Sensor bestätigt, dass das Rolltor geschlossen ist, wird die Verriegelung der Schiebetüre gelöst und der Mitarbeiter kann die Anlage betreten. Nach dem Verlassen des Sicherheitsbereichs und dem Schließen der Schiebetüre, muss der Mitarbeiter bestätigen, dass sich niemand innerhalb der Anlage befindet und die Anlage gefahrlos in Betrieb genommen werden kann. Erst nach dieser Bestätigung wird die Schiebetüre verriegelt und das Rolltor geöffnet. Abbildung 6.18 zeigt den beschriebenen Ablauf. Die Tabelle 6.8 zeigt eine Übersicht der verwendeten Variablen.

<i>Sensor_RolltorZuf_Geschlossen</i>	Sensor des Rolltors - Zufuhrseite
<i>Sensor_RolltorEnt_Geschlossen</i>	Sensor des Rolltors - Entnahmeseite
<i>Sicherheitszaun_E</i>	Sensor des Sicherheitszauns der Entstapelseite
<i>Sicherheitszaun_S</i>	Sensor des Sicherheitszauns der Stapelseite

Tabelle 6.8: Übersicht der verwendeten Variablen - Zutrittsregelung

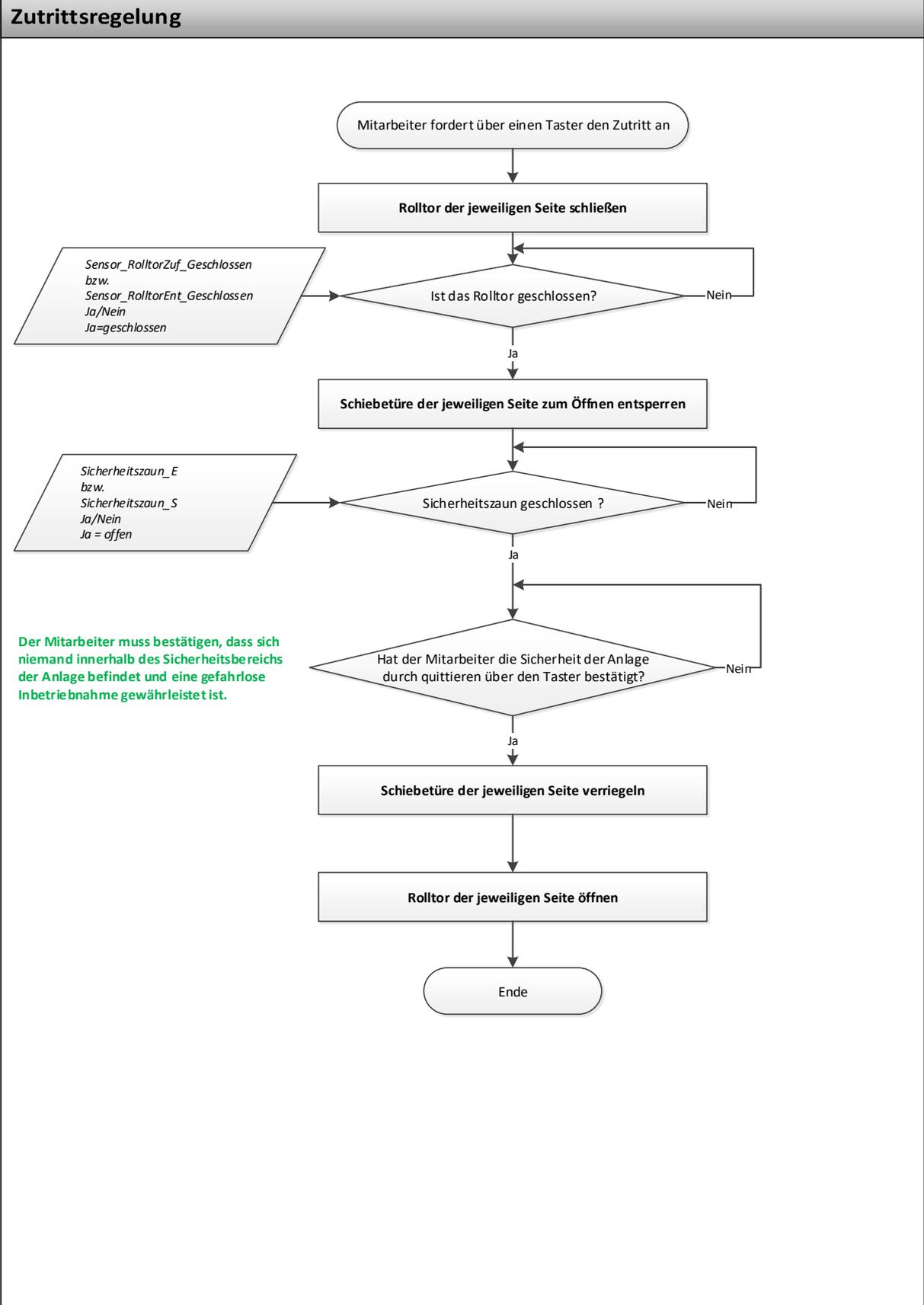


Abbildung 6.18: Zutrittsregelung, Quelle: Eigene Darstellung.

7 Fazit und Ausblick

Die konzipierte Anlage erfüllt sämtliche Anforderungen der vaBWA. Darüber hinaus ist ein Eingriff von Mitarbeitern nur mehr für die Zufuhr und den Abtransport der Paletten notwendig. Die erforderlichen Umbaumaßnahmen beschränken sich auf die Vorgaben der vaBWA. Zusätzlich können die bestehenden Metallgestelle weiterverwendet werden, sodass teure Neuanfertigungen vermieden werden.

Der Aufwand und die Komplexität, die notwendig sind um die Anforderungen zu erfüllen, wurde im Vorhinein geringer eingeschätzt. Besonders die Einhaltung der geforderten Zykluszeit bei kontinuierlicher Produktion stellt eine Herausforderung dar. Die Verfahrensgeschwindigkeit des Knickarmroboters wird, um ein Herabfallen zu vermeiden, durch die auf den Trockenrahmen liegenden Elektroden begrenzt. Zudem kann die Zeit, welche für das Spannen und Entspannen zur Verfügung steht (jeweils 2 s), beim verwendeten System nicht mehr wesentlich reduziert werden. Der Verfahrensweg und damit die nötige Zykluszeit lassen sich somit nur durch die Verwendung von Scherenhubtischen reduzieren. Diese würden jedoch eine kontinuierliche Produktion verhindern. Aus diesen Gründen kann die Zykluszeit mit diesem Anlagenkonzept nicht mehr wesentlich unter die derzeitige Anforderung gesenkt werden.

Die Konstruktion des Greifers wurde durch den geringen zur Verfügung stehenden Bauraum sowie die Einschränkung die Trockenrahmen nur einseitig greifen zu können erschwert. Es konnte dennoch eine Lösung gefunden werden, die sämtliche Anforderungen hinsichtlich Robustheit, Zykluszeit und Positioniergenauigkeit erfüllt.

Zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Diplomarbeit wurde die Anlage noch nicht realisiert.

Auch nach einer Realisierung dieser Anlage, müssen die getrockneten Elektroden händisch von den Trockenrahmen abgehoben und in einem Stäbesammler abgelegt werden. Mit Hilfe des Stäbesammlers werden die Stabelektroden anschließend der Verpackungsanlage zugeführt. Als mögliche Erweiterung dieser Anlage, kann der aktuelle Vorgang umgekehrt werden. Dabei werden der Anlage Paletten mit getrockneten Stabelektroden zugeführt und durch den Knickarmroboter auf dem Förderband abgelegt. Vom Förderband gelangen die Stabelektroden anschließend in einen Stäbesammler. Dieser umgekehrte Prozess kann in Phasen, in denen keine Produktion an der Presslinie 2 stattfindet, durchgeführt werden.

Literatur

- Böge, Alfred (2012). *Formeln und Tabellen Maschinenbau*. 3.Auflage. Vieweg+Teubner Verlag.
- Fahrenwaldt, Hans J. und Volkmar Schuler (2009). *Praxiswissen Schweißtechnik*. 3.Auflage. Vieweg+Teubner.
- KG, Festo AG & Co (2016). *Stopperzylinder DFSP*. URL: https://www.festo.com/cat/de_de/data/doc_de/PDF/DE/DFSP_DE.PDF (besucht am 16.07.2016).
- Pahl, Gerhard u. a. (2004). *Pahl/Beitz Konstruktionslehre*. 6.Auflage. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- VDI 2225 Blatt 3: Konstruktionsmethodik, Technisch-wirtschaftliches Konstruieren, Technisch-wirtschaftliche Bewertung* (1998-11). VDI-Richtlinie.

Abbildungsverzeichnis

1.1	Ausgangssituation, Quelle: Eigene Darstellung.	2
1.2	Aufgabenstellung, Quelle: Eigene Darstellung.	4
1.3	Stabelektrode, Quelle: Eigene Darstellung.	4
1.4	Trockenrahmen, Quelle: Eigene Darstellung.	5
1.5	Palette, Quelle: Eigene Darstellung.	6
1.6	Zufuhrband mit Elektrodengruppen, Quelle: Eigene Darstellung.	6
2.1	Konzept-Knickarmroboter, Quelle: Eigene Darstellung.	8
2.2	Konzept-Raumportal, Quelle: Eigene Darstellung.	10
2.3	Konzept-Paternoster Übersicht, Quelle: Eigene Darstellung.	11
2.4	Konzept-Paternoster Ablauf, Quelle: Eigene Darstellung.	12
3.1	Stillstandszeit - Variante 1, Quelle: Eigene Darstellung.	15
3.2	Stillstandszeit - Variante 2, Quelle: Eigene Darstellung.	16
3.3	Stillstandszeit - Variante 3, Quelle: Eigene Darstellung.	17
3.4	Stillstandszeit - Variante 4, Quelle: Eigene Darstellung.	18
3.5	Stopperzylinder von Festo, Quelle: Festo - Katalog Stopperzylinder DFSP (2016), Onlinequelle [16.07.2016].	22
3.6	Anlagenkonzept - Übersicht, Quelle: Eigene Darstellung.	24
3.7	Greifer-Koordinatensystem, Quelle: Eigene Darstellung.	25
3.8	Bewegungsstudie, Quelle: Eigene Darstellung.	26
4.1	Konzept 1 - Klemmen am Winkelprofil - Skizze, Quelle: Eigene Darstellung.	29
4.2	Konzept 2 - Einfahren in Hohlprofil und Klemmen von oben, Quelle: Eigene Darstellung.	32
4.3	Ermittlung der Kräfte, Quelle: Eigene Darstellung.	33
4.4	Konzept 2 - Finger - maximale Beanspruchung, Quelle: Eigene Darstellung.	35
4.5	Konzept 2 - Finger-Rund - Geometriedaten, Quelle: Eigene Darstellung.	36
4.6	Konzept 2 - Finger Geometrievergleich, Quelle: Eigene Darstellung.	38
4.7	Konzept 2 - Finger - Optimierte Kontur, Quelle: Eigene Darstellung.	39
4.8	Konzept 3 - Seitliche Klemmbacken, Quelle: Eigene Darstellung.	41
4.9	Konzept 3 - Ermittlung der Kräfte, Quelle: Eigene Darstellung.	42
4.10	Konzept 3 - FEM - Von Mises Spannungen, Quelle: Eigene Darstellung.	44
4.11	Konzept 3 - FEM - Verschiebung in vertikaler Richtung, Quelle: Eigene Darstellung.	45
4.12	Konzept 3 - Skizze - Erforderliche Zylinderkraft, Quelle: Eigene Darstellung.	46
4.13	Greifer - Zentrierung, Quelle: Eigene Darstellung.	47
4.14	Greifer - Positionierung, Quelle: Eigene Darstellung.	49
4.15	Greifer - Auswahlliste, Quelle: Eigene Darstellung.	50
5.1	Reinigungsvorrichtung, Quelle: Eigene Darstellung.	52

Abbildungsverzeichnis

6.1	Greifer - Koordinatensystem, Quelle: Eigene Darstellung.	54
6.2	Koordinatensystem, Quelle: Eigene Darstellung.	55
6.3	Übersicht - Sensorik und Aktorik, Quelle: Eigene Darstellung.	55
6.4	Symbole, Quelle: Eigene Darstellung.	56
6.5	Entstapeln 1,Quelle: Eigene Darstellung.	58
6.6	Entstapeln 2, Quelle: Eigene Darstellung.	59
6.7	Reinigung und Elektroden aufnehmen, Quelle: Eigene Darstellung.	61
6.8	Stapeln 1, Quelle: Eigene Darstellung.	63
6.9	Stapeln 2, Quelle: Eigene Darstellung.	64
6.10	Spannen, Quelle: Eigene Darstellung.	66
6.11	Entspannen, Quelle: Eigene Darstellung.	67
6.12	Leere Entstapelposition 1, Quelle: Eigene Darstellung.	69
6.13	Leere Entstapelposition 2, Quelle: Eigene Darstellung.	70
6.14	Volle Stapelposition 1, Quelle: Eigene Darstellung.	72
6.15	Volle Stapelposition 2, Quelle: Eigene Darstellung.	73
6.16	Massewechsel 1, Quelle: Eigene Darstellung.	75
6.17	Massewechsel 2, Quelle: Eigene Darstellung.	76
6.18	Zutrittsregelung, Quelle: Eigene Darstellung.	78

Tabellenverzeichnis

2.1	Werteskala nach VDI 2225 Blatt 3:1998-11, Quelle: VDI 2225 Blatt 3 (1998-11), S. 4 (leicht modifiziert).	13
2.2	Nutzwertanalyse - Konzeptvergleich, Quelle: Eigene Darstellung.	13
3.1	Stillstandszeit - Variante 1, Quelle: Eigene Darstellung.	15
3.2	Stillstandszeit - Variante 2, Quelle: Eigene Darstellung.	16
3.3	Stillstandszeit - Variante 3, Quelle: Eigene Darstellung.	17
3.4	Stillstandszeit - Variante 4, Quelle: Eigene Darstellung.	19
3.5	Ablaufplan - Palettenbelegung 1, Quelle: Eigene Darstellung.	20
3.6	Ablaufplan - Palettenbelegung 2, Quelle: Eigene Darstellung.	21
3.7	Bewegungsstudie - Zeitlicher Ablauf, Quelle: Eigene Darstellung.	27
4.1	Finger - Auftretende Kräfte, Quelle: Eigene Darstellung	34
4.2	Seitliche Klemmbacken - Auftretende Kräfte, Quelle: Eigene Darstellung.	43
6.1	Übersicht der verwendeten Variablen - Entstapeln	57
6.2	Übersicht der verwendeten Variablen - Reinigung und Elektroden aufnehmen	60
6.3	Übersicht der verwendeten Variablen - Stapeln	62
6.4	Übersicht der verwendeten Variablen - Spannen und Entspannen	65
6.5	Übersicht der verwendeten Variablen - Leere Entstapelposition	68
6.6	Übersicht der verwendeten Variablen - Volle Stapelposition	71
6.7	Übersicht der verwendeten Variablen - Massewechsel	74
6.8	Übersicht der verwendeten Variablen - Zutrittsregelung	77

Anhang

- Auslegung des Pneumatikzylinders für das Klemmen von Oben mittels Tool von Festo;
- Auslegung des Pneumatikzylinders für das seitliche Klemmen mittels Tool von Festo;
- Auslegung der Kugelumlauführung für das Klemmen von Oben mittels Bearinx-Online
- Auslegung der Rollenführung für die seitlichen Klemmbacken mittels Bearinx-Online

Eingabe - Systemparameter

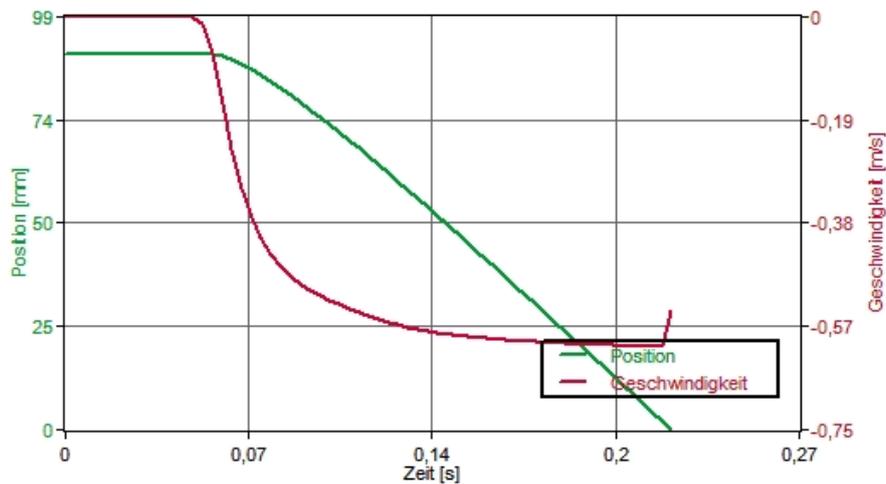
Verfahrweg	0.09 m	Bewegungsrichtung	einfahren
Bewegte Masse	1 kg	Betriebsdruck	5.7 bar
Einbauwinkel	-90.0000000000002 iä		

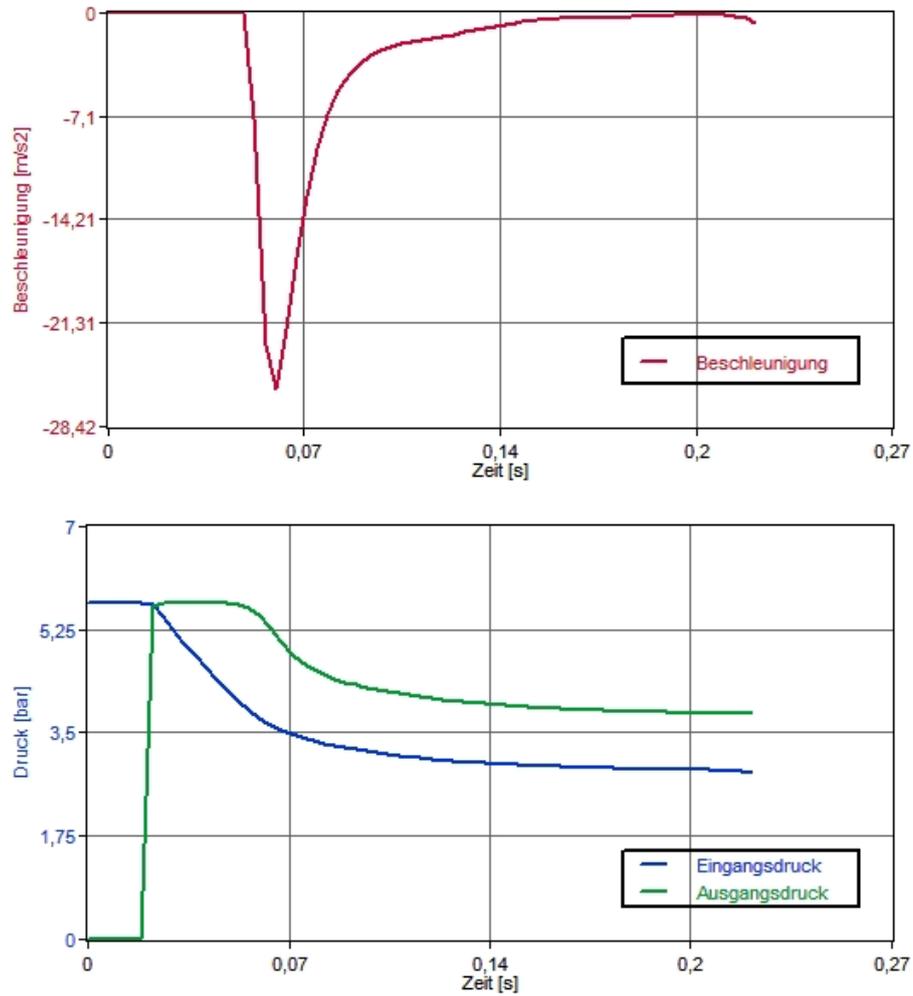
Stückliste

Antrieb	ADN-25-90-A-P-A	536250		
Wegeventil	VUVG-L10-M52-RT-M5-1P3	566457		
Schalldämpfer				
Schlauch [Zyl. > Ventil]	PUN-4x0,75-BL	159662	Schlauchlänge	2 m
Verschraubung1	QSM-M5-4	153304		
Schlauch [Quelle > Ventil]	PUN-4x0,75-BL	159662	Schlauchlänge	2 m
Verschraubung2	QSM-M5-4	153304		

Berechnete Ergebnisse

Gesamtpositionierzeit	0.182 s	Auftreffgeschwindigkeit	-0.537 m/s
Durchschnittsgeschwindigkeit	0.490 m/s	Max. Geschwindigkeit	0.605 m/s
Luftverbrauch pro Zyklus	0.548 l		
Kinetische Auftreffenergie	0.157 J		





Festo kann keine Gewährleistung für Schäden die sich aus dem Gebrauch oder Nichtgebrauch dieser Software ergeben - auch im Falle von Fehlern - übernehmen. Dies gilt auch, wenn die Möglichkeit eines Fehlers Festo bekannt war. Die mit diesem Programm errechenbaren Daten/Ergebnisse dienen allein der Produktbeschreibung und stellen keine zugesicherten Eigenschaften im Rechtssinne dar.

Eingabe - Systemparameter

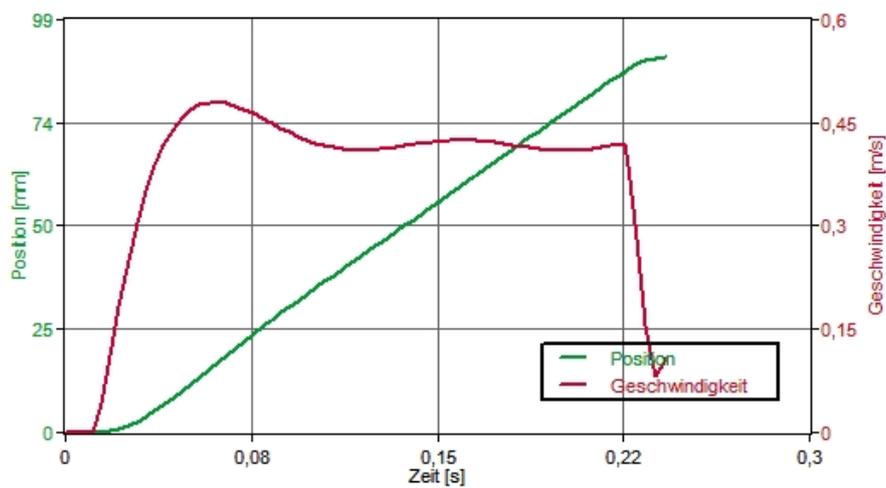
Verfahrweg	0.09 m	Bewegungsrichtung	ausfahren
Bewegte Masse	2 kg	Betriebsdruck	5.7 bar
Einbauwinkel	0 iä		

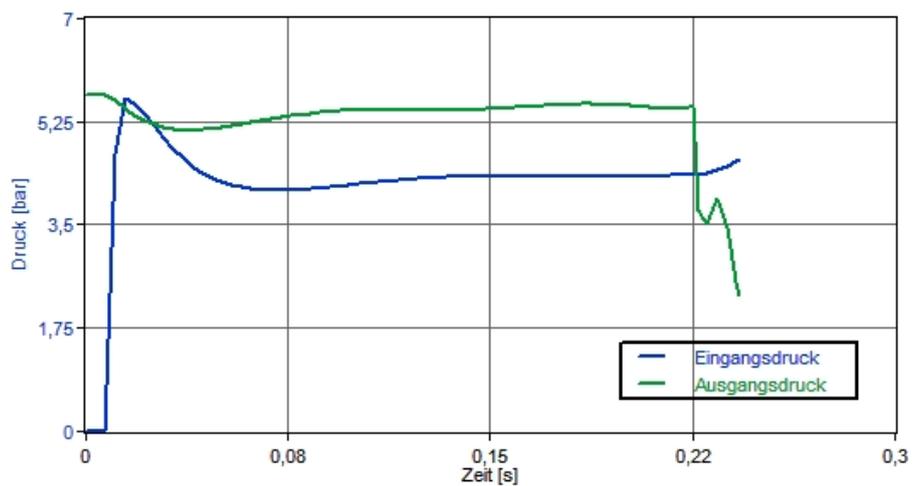
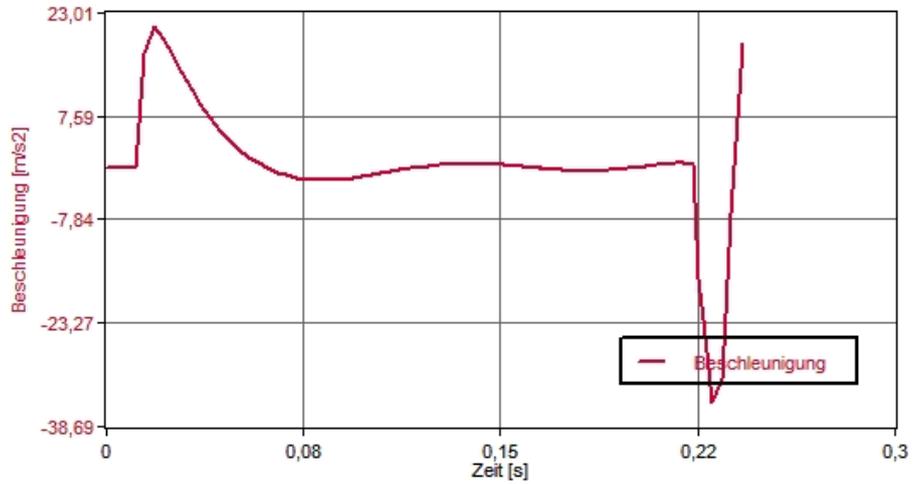
Stückliste

Antrieb	ADN-20-90-A-PPS-A	536233		
Drosselrückschlagventil	GRLA-M5-QS-4-D	193138	Einstellungen:	Durchfluss6.5 Umdrehungen geöffnet
Wegeventil	VUVG-L10-M52-RT-M5-1P3	566457		
Schalldämpfer				
Schlauch [Zyl. > Ventil]	PUN-4x0,75-BL	159662	Schlauchlänge	10 m
Verschraubung1	QSM-M5-4	153304		
Schlauch [Quelle > Ventil]	PUN-4x0,75-BL	159662	Schlauchlänge	1 m
Verschraubung2	QSM-M5-4	153304		

Berechnete Ergebnisse

Gesamtpositionierzeit	0.231 s	Auftreffgeschwindigkeit	0.110 m/s
Durchschnittsgeschwindigkeit	0.390 m/s	Max. Geschwindigkeit	0.481 m/s
Luftverbrauch minimal	0.187 l		
Kinetische Auftreffenergie	0.013 J		





Festo kann keine Gewährleistung für Schäden die sich aus dem Gebrauch oder Nichtgebrauch dieser Software ergeben - auch im Falle von Fehlern - übernehmen. Dies gilt auch, wenn die Möglichkeit eines Fehlers Festo bekannt war. Die mit diesem Programm errechenbaren Daten/Ergebnisse dienen allein der Produktbeschreibung und stellen keine zugesicherten Eigenschaften im Rechtssinne dar.

Die Erarbeitung der Unterlage erfolgt ausschließlich im Zusammenhang mit dem Erwerb unserer Produkte. Die Ergebnisse der Unterlage sind sorgfältig und nach dem Stand der Technik erarbeitet, stellen jedoch im juristischen Sinne keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeitsgarantie dar und ersetzen nicht die von Ihnen zu verifizierende Eignung. Wir haften für die Angaben in der Unterlage nur im Falle von Vorsatz oder Fahrlässigkeit. Ist die Unterlage Bestandteil einer Liefervereinbarung gelten die dort vereinbarten Haftungsregeln.

Kugelumlaufführung-Klemme

Berechnung / Einbauvorschlag

Datum: 2016-05-14 17:43:20
Für Firma:
Projektnummer: MS034-Rahmenstapelung

Bearbeitet durch: Marco_Sch

Achtung

Bitte beachten Sie die Warnungen am Ende der Druckausgabe.

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmustereintragung. Die Unterlage ist vertraulich zu behandeln. Ohne unsere schriftliche Zustimmung darf weder die Unterlage selbst, noch Vervielfältigungen davon oder sonstige Wiedergaben des vollständigen oder auszugsweisen Inhalts Dritten zugänglich gemacht werden oder durch den Empfänger in anderer Weise missbräuchlich verwertet werden. Basis der Ausarbeitung der Unterlage sind Ihre oben angeführten Vorgaben und unsere Annahmen. Unsere Angaben berücksichtigen diejenigen Risiken, die uns auf Grund der von Ihnen zur Verfügung gestellten Vorgaben erkennbar waren. Die Erarbeitung der Unterlage erfolgt ausschließlich im Zusammenhang mit dem Erwerb unserer Produkte. Die Ergebnisse der Unterlage sind sorgfältig und nach dem Stand der Technik erarbeitet, stellen jedoch im juristischen Sinne keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeitsgarantie dar und ersetzen nicht die von Ihnen zu verifizierende Eignung. Wir haften für die Angaben in der Unterlage nur im Falle von Vorsatz und Fahrlässigkeit. Ist die Unterlage Bestandteil einer Liefervereinbarung gelten die dort vereinbarten Haftungsregeln.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	2
1.1. Minimale Lebensdauer und Tragsicherheit (Linearachsensystem)	2
1.2. Wälzlagerverhalten	2
2. Eingaben	2
2.1. Linearachsensystem	2
2.1.1. Lastfalldaten	2
2.2. Linearachse 1	2
2.2.1. Eingabedaten der Linearachse	2
2.2.1.1. Betriebsdaten Linearachse 1	2
2.2.1.2. Diagramm Betriebsdaten Linearachse 1:	3
2.2.2. Eingabedaten Linearlager	3
2.2.2.1. Lagerdaten - Zusammenfassung	3
2.2.3. Belastungen des Tisches	4
2.2.3.1. Lastfallübergreifende Punktlasten	4
2.2.4. Eingabedaten der Antriebe	4
2.2.4.1. Lage und Steifigkeit der Antriebe	4
2.2.5. Eingabedaten der Arbeitspunkte	4
2.2.5.1. Lage der Arbeitspunkte (Linearachse 1)	4
3. Ergebnisse	5
3.1. Linearachse 1	5
3.1.1. Ergebnisse (Linearachse 1)	5
3.1.2. Ergebnisse der Lager	5
3.1.2.1. Druckellipsenkennziffer k_S (Linearachse 1)	5
3.1.2.2. Ergebnisse für Lastfall 1 (Linearachse 1)	5
3.1.2.3. Ergebnisse für Lastfall 2 (Linearachse 1)	5
3.1.3. Verhalten der Arbeitspunkte	6
3.1.3.1. Klemme (Linearachse 1 - Gesamtergebnis - Verlagerung)	6
3.1.4. Ergebnisse der Antriebe	6
3.1.4.1. Verhalten der Antriebe	6

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmustereintragung. Die Unterlage ist vertraulich zu behandeln. Ohne unsere schriftliche Zustimmung darf weder die Unterlage selbst, noch Vervielfältigungen davon oder sonstige Wiedergaben des vollständigen oder auszugsweisen Inhalts Dritten zugänglich gemacht werden oder durch den Empfänger in anderer Weise missbräuchlich verwertet werden. Basis der Ausarbeitung der Unterlage sind Ihre oben angeführten Vorgaben und unsere Annahmen. Unsere Angaben berücksichtigen diejenigen Risiken, die uns auf Grund der von Ihnen zur Verfügung gestellten Vorgaben erkennbar waren.

Die Erarbeitung der Unterlage erfolgt ausschließlich im Zusammenhang mit dem Erwerb unserer Produkte. Die Ergebnisse der Unterlage sind sorgfältig und nach dem Stand der Technik erarbeitet, stellen jedoch im juristischen Sinne keine Beschaffenheits- oder Halbbauwerksgarantie dar und ersetzen nicht die von Ihnen zu verifizierende Eignung. Wir haften für die Angaben in der Unterlage nur im Falle von Nachweis der Fahrlässigkeit. Ist die Unterlage Bestandteil einer Liefervereinbarung gelten die dort vereinbarten Haftungsregeln.

BEARINX online

Easy Linear



Anfangsverlagerungen

Bez	DelVy mm	DelVz mm	Phix mrad	Phiy mrad	Phiz mrad
KUEM15-L-V0 (1)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
KUEM15-L-V0 (2)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabellenerklärungen:

- Bez: Bezeichnung
- DelVy: Anfangsverschiebung in y-Richtung
- DelVz: Anfangsverschiebung in z-Richtung
- Phix: Anfangsverkippung um die x-Achse
- Phiy: Anfangsverkippung um die y-Achse
- Phiz: Anfangsverkippung um die z-Achse

2.2.3. Belastungen des Tisches

2.2.3.1. Lastfallübergreifende Punktlasten

Punktlast	Lastfall	x	y	z	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		mm	mm	mm	N	N	N	N m	N m	N m
Reaktionskraft-Rahmen	Lastfall 1	32.000	-81.000	20.000	-295.00	-295.00	0.00	0.000	0.000	0.000
	Lastfall 2	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000

Tabellenerklärungen:

- x: Lastfallabhängige Lage in x-Richtung
- y: Lastfallabhängige Lage in y-Richtung
- z: Lastfallabhängige Lage in z-Richtung
- Fx: Kraft in x-Richtung
- Fy: Kraft in y-Richtung
- Fz: Kraft in z-Richtung
- Mx: Moment um x-Achse
- My: Moment um y-Achse
- Mz: Moment um z-Achse

2.2.4. Eingabedaten der Antriebe

2.2.4.1. Lage und Steifigkeit der Antriebe

Antrieb	y mm	z mm	sl mm	sStiff N/mm
Antrieb 1	-20.000	0.000	90.000	100000.0

Tabellenerklärungen:

- y: Lage in y-Richtung
- z: Lage in z-Richtung
- sl: Spindellänge
- sStiff: Spindelsteifigkeit

2.2.5. Eingabedaten der Arbeitspunkte

2.2.5.1. Lage der Arbeitspunkte (Linearachse 1)

Arbeitspunkt	x mm	y mm	z mm	epsX °	epsY °	epsZ °
Klemme	32.000	-81.000	0.000	0.0	0.0	0.0

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmustererteilung. Die Unterlage ist vertraulich zu behandeln. Ohne unsere schriftliche Zustimmung darf weder die Unterlage selbst, noch Veröffentlichungen davon oder sonstige Wiedergaben des vollständigen oder auszugsweisen Inhalts Dritten zugänglich gemacht, werden oder durch den Empfänger in irgendeiner Weise an Dritte weitergegeben werden. Es sei denn, die Rechte der Unterlage sind im Rahmen der gesetzlichen Bestimmungen ausdrücklich übertragen. In jedem Fall sind die Rechte vorbehalten, die uns auf Grund der von Ihnen zur Verfügung gestellten Vorgabe ermittelbar waren.

Die Erarbeitung der Unterlage erfolgt ausschließlich im Zusammenhang mit dem Erwerb unserer Produkte. Die Ergebnisse der Unterlage sind sorgfältig und nach dem Stand der Technik erarbeitet, stellen jedoch im juristischen Sinne keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeitsgarantie dar und ersetzen nicht die von Ihnen zu verifizierende Eignung. Wir haften für die Angaben in der Unterlage nur im Falle von Nachweis der Fahrlässigkeit. Ist die Unterlage Bestandteil einer Liefervereinbarung gehen die dort vereinbarten Haftungsregeln.

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmustererteilung. Die Unterlage ist vertraulich zu behandeln. Ohne unsere schriftliche Zustimmung darf weder die Unterlage selbst, noch Vervielfältigungen davon oder sonstige Weitergaben des vollständigen oder auszugsweisen Inhalts Dritten zugänglich gemacht, werden oder durch den Empfänger in irgendeiner Weise öffentlich gemacht werden. Es sei denn, der Empfänger der Unterlage ist ein Mitarbeiter der Schaeffler AG oder ein Mitarbeiter eines Tochterunternehmens der Schaeffler AG, der die Unterlage im Rahmen seiner beruflichen Tätigkeit zur Verfügung gestellt wurde. In allen anderen Fällen gehen die Risiken, die uns auf Grund der von Ihnen zur Verfügung gestellten Vorgaben erkennbar waren.

BEARINX online

Easy Linear

SCHAEFFLER



Tabellenerklärungen:

- x: Lage in x-Richtung
- y: Lage in y-Richtung
- z: Lage in z-Richtung
- epsX: Verdrehung um x-Achse
- epsY: Verdrehung um y-Achse
- epsZ: Verdrehung um z-Achse

3. Ergebnisse

3.1. Linearachse 1

3.1.1. Ergebnisse (Linearachse 1)

Mittlere äquivalente Geschwindigkeit v_av 10.80 m/min

3.1.2. Ergebnisse der Lager

3.1.2.1. Druckellipsenkennziffer kS (Linearachse 1)

Lager	kS (Tragkörper)	kS (Schiene)
KUEM15-L-V0 (1)	1.392	1.618
KUEM15-L-V0 (2)	1.363	1.593

Tabellenerklärungen:

- kS (Tragkörper): Druckellipsenkennziffer
- kS (Schiene): Druckellipsenkennziffer

3.1.2.2. Ergebnisse für Lastfall 1 (Linearachse 1)

Lebensdauer und Sicherheiten (Linearachse 1)

Lager	Lh10_i (kf) h	L10_i (kf) 10 ⁵ m	SD_i	S0 (kOf)
KUEM15-L-V0 (1)	9091	59	3.891	3.696
KUEM15-L-V0 (2)	8300	54	3.775	3.394

Tabellenerklärungen:

- Lh10_i (kf): Lebensdauer für den Lastfall (nominell)
- L10_i (kf): Lebensdauer für den Lastfall (nominell)
- SD_i: Dynamische Tragsicherheit
- S0 (kOf): Statische Tragsicherheit

3.1.2.3. Ergebnisse für Lastfall 2 (Linearachse 1)

Lebensdauer und Sicherheiten (Linearachse 1)

Lager	Lh10_i (kf) h	L10_i (kf) 10 ⁵ m	SD_i	S0 (kOf)
KUEM15-L-V0 (1)	> 1000000	> 1000000	> 100.000	> 100.000
KUEM15-L-V0 (2)	> 1000000	> 1000000	> 100.000	> 100.000

Die Erarbeitung der Unterlage erfolgt ausschließlich im Zusammenhang mit dem Erwerb unserer Produkte. Die Ergebnisse der Unterlage sind sorgfältig und nach dem Stand der Technik erarbeitet, stellen jedoch im juristischen Sinne keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeitsgarantie dar und ersetzen nicht die von Ihnen zu vertretende Eignung. Wir haften für die Angaben in der Unterlage nur im Falle von Nachweis der Fahrlässigkeit. Ist die Unterlage Bestandteil einer Liefervereinbarung, gelten die dort vereinbarten Haftungsregeln.

BEARINX online

Easy Linear

SCHAEFFLER



Tabellenerklärungen:

- Lh10_i (kf): Lebensdauer für den Lastfall (nominell)
- L10_i (kf): Lebensdauer für den Lastfall (nominell)
- SD_i: Dynamische Tragsicherheit
- S0 (k0f): Statische Tragsicherheit

3.1.3. Verhalten der Arbeitspunkte

3.1.3.1. Klemme (Linearachse 1 - Gesamtergebnis - Verlagerung)

Lastfall	DelVx mm	DelVy mm	DelVz mm	Dabs mm	Phix mrad	Phiy mrad	Phiz mrad	Pabs mrad
Lastfall 1 (Ergebnisse)	-0.0459	-0.0234	0.0020	0.0516	0.0075	-0.0812	-0.7033	0.7080
Lastfall 2 (Ergebnisse)	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Tabellenerklärungen:

- DelVx: Verschiebung in x-Richtung
- DelVy: Verschiebung in y-Richtung
- DelVz: Verschiebung in z-Richtung
- Dabs: Resultierende Verlagerung
- Phix: Verkipfung um die x-Achse
- Phiy: Verkipfung um die y-Achse
- Phiz: Verkipfung um die z-Achse
- Pabs: Resultierende Verkipfung

3.1.4. Ergebnisse der Antriebe

3.1.4.1. Verhalten der Antriebe

Antrieb	Lastfall	Fx N	DelVx mm
Antrieb 1	Lastfall 1	-295.00	-0.003
	Lastfall 2	0.00	0.000

Tabellenerklärungen:

- Fx: Kraft am Antrieb in x-Richtung
- DelVx: Verschiebung am Antrieb in x-Richtung

4. Warnungen

Elastizität von Tragkörper und Schiene kann nicht berücksichtigt werden. Es existieren keine Einflusszahlen. Tragkörper und Schiene werden als starr angenommen.

- Linearachse 1, KUEM15-L-V0 (1)
- Linearachse 1, KUEM15-L-V0 (2)

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmustererteilung. Die Unterlage ist vertraulich zu behandeln. Ohne unsere schriftliche Zustimmung darf weder die Unterlage selbst, noch Veröffentlichungen davon oder sonstige Wiedergaben des vollständigen oder auszugsweisen Inhalts Dritten zugänglich gemacht werden oder durch den Empfänger in irgendeiner Weise übertragen werden. Es ist ausdrücklich zu beachten, dass die Unterlage und die darin enthaltenen Informationen ausschließlich für den bestimmungsgemäßen Gebrauch und die Veranschaulichung der Daten sind. Jegliche Weitergabe, Vervielfältigung, Verbreitung, Nachahmung oder Nachdruck ist ohne schriftliche Genehmigung der Schaeffler Technologies AG & Co. KG ausdrücklich untersagt. Die Haftung für Schäden, die uns auf Grund der von Ihnen zur Verfügung gestellten Vorgabe erntbar waren, ist ausgeschlossen.

Die Erarbeitung der Unterlage erfolgt ausschließlich im Zusammenhang mit dem Erwerb unserer Produkte. Die Ergebnisse der Unterlage sind sorgfältig und nach dem Stand der Technik erarbeitet, stellen jedoch im juristischen Sinne keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeitsgarantie dar und ersetzen nicht die von Ihnen zu verifizierende Eignung. Wir haften für die Angaben in der Unterlage nur im Falle von Vorsatz und Fahrlässigkeit. Ist die Unterlage Bestandteil einer Liefervereinbarung gelten die dort vereinbarten Haftungsregeln.

BEARINX online

Easy Linear



Rollenumlaufführung-Finger

Berechnung / Einbauvorschlag

Datum: 2016-05-15 23:05:44
 Für Firma:
 Projektnummer: MS024-Rahmenstapelanlage

Bearbeitet durch: Marco_Sch

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmustereintragung. Die Unterlage ist vertraulich zu behandeln. Ohne unsere schriftliche Zustimmung darf weder die Unterlage selbst, noch Vervielfältigungen davon oder sonstige Wiedergaben des vollständigen oder auszugsweisen Inhalts Dritten zugänglich gemacht werden oder durch den Empfänger in anderer Weise missbräuchlich verwendet werden. Basis der Ausarbeitung der Unterlage sind Ihre oben angeführten Vorgaben und unsere Annahmen. Unsere Angaben berücksichtigen diejenigen Risiken, die uns auf Grund der von Ihnen zur Verfügung gestellten Vorgaben erkennbar waren. Die Erarbeitung der Unterlage erfolgt ausschließlich im Zusammenhang mit dem Erwerb unserer Produkte. Die Ergebnisse der Unterlage sind sorgfältig und nach dem Stand der Technik erarbeitet, stellen jedoch im juristischen Sinne keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeitsgarantie dar und ersetzen nicht die von Ihnen zu verifizierende Eignung. Wir haften für die Angaben in der Unterlage nur im Falle von Vorsatz und Fahrlässigkeit. Ist die Unterlage Bestandteil einer Liefervereinbarung gelten die dort vereinbarten Haftungsregeln.

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	2
1.1. Minimale Lebensdauer und Tragsicherheit (Linearachsensystem)	2
1.2. Wälzlagerverhalten	2
2. Eingaben	2
2.1. Linearachsensystem	2
2.1.1. Lastfalldaten	2
2.2. Linearachse 1	3
2.2.1. Eingabedaten der Linearachse	3
2.2.1.1. Betriebsdaten Linearachse 1	3
2.2.1.2. Diagramm Betriebsdaten Linearachse 1:	3
2.2.2. Eingabedaten Linearlager	3
2.2.2.1. Lagerdaten - Zusammenfassung	3
2.2.3. Belastungen des Tisches	4
2.2.3.1. Lastfallübergreifende Punktlasten	4
2.2.4. Eingabedaten der Massen	5
2.2.4.1. Lage der Massen	5
2.2.4.2. Masse-Eigenschaften	5
2.2.5. Eingabedaten der Antriebe	5
2.2.5.1. Lage und Steifigkeit der Antriebe	5
2.2.6. Eingabedaten der Arbeitspunkte	6
2.2.6.1. Lage der Arbeitspunkte (Linearachse 1)	6
3. Ergebnisse	6
3.1. Linearachse 1	6
3.1.1. Ergebnisse (Linearachse 1)	6
3.1.2. Ergebnisse der Lager	6
3.1.2.1. Ergebnisse für Lastfall 1 (Linearachse 1)	6
3.1.2.2. Ergebnisse für Lastfall 2 (Linearachse 1)	7
3.1.3. Verhalten der Arbeitspunkte	7
3.1.3.1. Finger-Anschlag (Linearachse 1 - Gesamtergebnis - Verlagerung)	7
3.1.3.2. Finger-Ende (Linearachse 1 - Gesamtergebnis - Verlagerung)	7

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmustereintragung. Die Unterlage ist vertraulich zu behandeln. Ohne unsere schriftliche Zustimmung darf weder die Unterlage selbst, noch Vervielfältigungen davon oder sonstige Wiedergaben des vollständigen oder auszugsweisen Inhalts Dritten zugänglich gemacht werden oder durch den Empfänger in anderer Weise missbräuchlich verwendet werden. Basis der Ausarbeitung der Unterlage sind Ihre oben angeführten Vorgaben und unsere Annahmen. Unsere Angaben berücksichtigen diejenigen Risiken, die uns auf Grund der von Ihnen zur Verfügung gestellten Vorgaben erkennbar waren.

Die Erarbeitung der Unterlage erfolgt ausschließlich im Zusammenhang mit dem Erwerb unserer Produkte. Die Ergebnisse der Unterlage sind sorgfältig und nach dem Stand der Technik erarbeitet, stellen jedoch im juristischen Sinne keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeitsgarantie dar und ersetzen nicht die von Ihnen zu verifizierende Eignung. Wir haften für die Angaben in der Unterlage nur im Falle von Nachweis der Fahrlässigkeit. Ist die Unterlage Bestandteil einer Liefervereinbarung gehen die dort vereinbarten Haftungsregeln.

BEARINX online

Easy Linear



3.1.4. Ergebnisse der Antriebe 8
 3.1.4.1. Verhalten der Antriebe 8

1. Zusammenfassung

1.1. Minimale Lebensdauer und Tragsicherheit (Linearachsensystem)

Lager mit min. Lebensdauer	RUE25-E (1)	
Minimale Lebensdauer	Lhmin	10471 h
Lager mit min. Lebensdauer in Kilometern	RUE25-E (1)	
Minimale Lebensdauer	Lkmin	6530 km
Lager mit min. statischer Tragsicherheit	RUE25-E (2)	
Minimale statische Tragsicherheit	S0min	6.663

1.2. Wälzlagerverhalten

Lager	Lh10 (kf) h	Lkm (kf) km	SD	C	S0_min n	C0 N
RUE25-E (1)	10471	6530	3.50 3	2800 0	6.709	6500 0
RUE25-E (2)	10569	6591	3.51 3	2800 0	6.663	6500 0

Tabellenerklärungen:
 Lh10 (kf): Lebensdauer (nominell)
 Lkm (kf): Lebensdauer (nominell)
 SD: Dynamische Tragsicherheit
 C: Dynamische Tragzahl
 S0_min: Statische Tragsicherheit
 C0: Statische Tragzahl

2. Eingaben

2.1. Linearachsensystem

2.1.1. Lastfalldaten

Lastfall	t_s	eG	a_g	epsx	epsz
	s		m/s ²	°	°
Lastfall 1	0.23	mit Eigengewicht	9.8066	-90.0	0.00
Lastfall 2	0.23	mit Eigengewicht	9.8066	-90.0	0.00

Tabellenerklärungen:
 t_s: Dauer in s
 eG: Eigengewicht
 a_g: Erdbeschleunigung
 epsx: Wirkrichtungswinkel (um x-Achse)
 epsz: Wirkrichtungswinkel (um z-Achse)

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmustererteilung. Die Unterlage ist vertraulich zu behandeln. Ohne unsere schriftliche Zustimmung darf weder die Unterlage selbst, noch Vervielfältigungen davon oder sonstige Wiedergaben des vollständigen oder auszugsweisen Inhalts Dritten zugänglich gemacht, werden oder durch den Einsatz in anderen Produkten weiterverwendet. Es ist ausdrücklich untersagt, die Unterlage in irgendeiner Weise zu kopieren, zu reproduzieren, zu verbreiten, zu veröffentlichen oder auf andere Weise öffentlich zugänglich zu machen. Jegliche Rechte, die uns auf Grund der von Ihnen zur Verfügung gestellten Vorgabe erkennbar waren, sind vorbehalten.

Die Erarbeitung der Unterlage erfolgt ausschließlich im Zusammenhang mit dem Erwerb unserer Produkte. Die Ergebnisse der Unterlage sind sorgfältig und nach dem Stand der Technik erarbeitet, stellen jedoch im juristischen Sinne keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeitsgarantie dar und ersetzen nicht die von Ihnen zu verifizierende Eignung. Wir haften für die Angaben in der Unterlage nur im Falle von Nachweis der Fahrlässigkeit. Ist die Unterlage Bestandteil einer Liefervereinbarung gelten die dort vereinbarten Haftungsregeln.

BEARINX online

Easy Linear



2.2. Linearachse 1

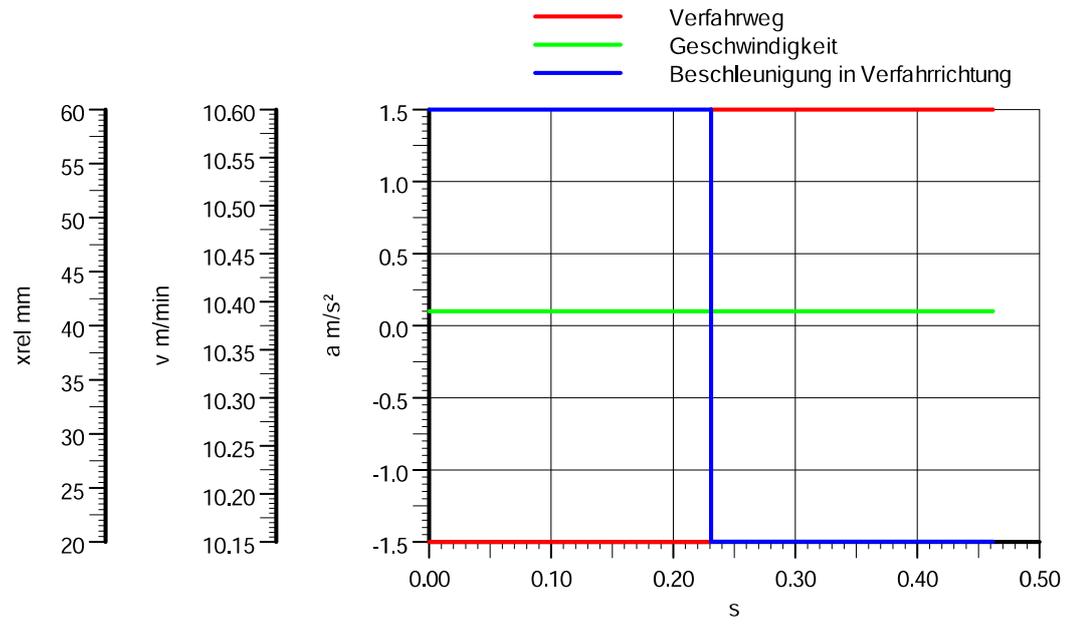
2.2.1. Eingabedaten der Linearachse

2.2.1.1. Betriebsdaten Linearachse 1

Lastfall	xrel mm	v m/min	a m/s ²	q %
Lastfall 1	20.0	10.39	1.499	50.00
Lastfall 2	60.0	10.39	-1.499	50.00

Tabellenerklärungen:
 xrel: Verfahrweg
 v: Geschwindigkeit
 a: Beschleunigung in Verfahrrichtung
 q: Zeitanteil

2.2.1.2. Diagramm Betriebsdaten Linearachse 1:



2.2.2. Eingabedaten Linearlager

2.2.2.1. Lagerdaten - Zusammenfassung

Tragzahlen, Lage

Lager	C	C0	Tisch verbunden mit	x	y	z	eps X
-------	---	----	---------------------	---	---	---	----------

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmustererteilung. Die Unterlage ist vertraulich zu behandeln. Ohne unsere schriftliche Zustimmung darf weder die Unterlage selbst, noch Vervielfältigungen davon oder sonstige Wiedergaben des vollständigen oder auszugsweisen Inhalts Dritten zugänglich gemacht werden oder durch den Empfänger in irgendeiner Weise an Dritte weitergegeben werden. Es ist ausdrücklich von der Unterlage sind Inhaber, Empfänger, Verleiher, Kopierher, Nachdruckher, Verbreiter, Verleger, Verleger, Verleger, Verleger, Verleger, die uns auf Grund der von Ihnen zur Verfügung gestellten, Vorgaben erkennbar waren.

Die Erarbeitung der Unterlage erfolgt ausschließlich im Zusammenhang mit dem Erwerb unserer Produkte. Die Ergebnisse der Unterlage sind sorgfältig und nach dem Stand der Technik erarbeitet, stellen jedoch im juristischen Sinne keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeitsgarantie dar und ersetzen nicht die von Ihnen zu verzehrende Eignung. Wir haften für die Angaben in der Unterlage nur im Falle von Nachweis der Fahrlässigkeit. Ist die Unterlage Bestandteil einer Liefervereinbarung gehen die dort vereinbarten Haftungsregeln.

BEARINX online

Easy Linear



Tabellenerklärungen:
 y: Lage in y-Richtung
 z: Lage in z-Richtung
 sl: Spindellänge
 sStiff: Spindelsteifigkeit

2.2.6. Eingabedaten der Arbeitspunkte

2.2.6.1. Lage der Arbeitspunkte (Linearachse 1)

Arbeitspunkt	x	y	z	eps X	eps Y	eps Z
	mm	mm	mm	°	°	°
Finger-Anschlag	0.00	-46.000	0.00	0.0	0.0	0.0
Finger-Ende	0.00	-296.00	0.00	0.0	0.0	0.0

Tabellenerklärungen:
 x: Lage in x-Richtung
 y: Lage in y-Richtung
 z: Lage in z-Richtung
 epsX: Verdrehung um x-Achse
 epsY: Verdrehung um y-Achse
 epsZ: Verdrehung um z-Achse

3. Ergebnisse

3.1. Linearachse 1

3.1.1. Ergebnisse (Linearachse 1)

Mittlere äquivalente Geschwindigkeit v_av 10.39 m/min

3.1.2. Ergebnisse der Lager

3.1.2.1. Ergebnisse für Lastfall 1 (Linearachse 1)

Lebensdauer und Sicherheiten (Linearachse 1)

Lager	Lh10_i (kf) h	L10_i (kf) 10^5m	SD_i	S0 (kof)
RUE25-E (1)	10449	65	3.50	6.711
RUE25-E (2)	10591	66	3.51	6.663

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmustererteilung. Die Unterlage ist vertraulich zu behandeln. Ohne unsere schriftliche Zustimmung darf weder die Unterlage selbst, noch Vervielfältigungen davon oder sonstige Wiedergaben des vollständigen oder auszugsweisen Inhalts Dritten zugänglich gemacht werden oder durch den Empfänger in irgendeiner Weise an Dritte weitergegeben werden. Es ist ausdrücklich untersagt, die Unterlage in irgendeiner Weise zu kopieren, zu reproduzieren, zu verbreiten, zu veröffentlichen oder auf andere Weise Dritten zugänglich zu machen. Die Unterlage ist ausschließlich für den persönlichen Gebrauch bestimmt und darf nicht für andere Zwecke verwendet werden. Die Unterlage ist ohne Gewährleistung zu betrachten. Die Unterlage ist ohne Haftung für die Richtigkeit der Angaben zu betrachten. Die Unterlage ist ohne Haftung für die Richtigkeit der Angaben zu betrachten. Die Unterlage ist ohne Haftung für die Richtigkeit der Angaben zu betrachten.

Die Erarbeitung der Unterlage erfolgt ausschließlich im Zusammenhang mit dem Erwerb unserer Produkte. Die Ergebnisse der Unterlage sind sorgfältig und nach dem Stand der Technik erarbeitet, stellen jedoch im juristischen Sinne keine Beschaffenheits- oder Haltbarkeitsgarantie dar und ersetzen nicht die von Ihnen zu verifizierende Eignung. Wir haften für die Angaben in der Unterlage nur im Falle von Nachweis der Fahrlässigkeit. Ist die Unterlage Bestandteil einer Liefervereinbarung gelten die dort vereinbarten Haftungsregeln.

BEARINX online

Easy Linear



Tabellenerklärungen:
 Lh10_i (kf): Lebensdauer für den Lastfall (nominell)
 L10_i (kf): Lebensdauer für den Lastfall (nominell)
 SD_i: Dynamische Tragsicherheit
 S0 (k0f): Statische Tragsicherheit

3.1.2.2. Ergebnisse für Lastfall 2 (Linearachse 1)

Lebensdauer und Sicherheiten (Linearachse 1)

Lager	Lh10_i (kf) h	L10_i (kf) 10^5m	SD_i	S0 (k0f)
RUE25-E (1)	10494	65	3,50	6.709
RUE25-E (2)	10546	66	3,51	6.725

Tabellenerklärungen:
 Lh10_i (kf): Lebensdauer für den Lastfall (nominell)
 L10_i (kf): Lebensdauer für den Lastfall (nominell)
 SD_i: Dynamische Tragsicherheit
 S0 (k0f): Statische Tragsicherheit

3.1.3. Verhalten der Arbeitspunkte

3.1.3.1. Finger-Anschlag (Linearachse 1 - Gesamtergebnis - Verlagerung)

Lastfall	DelVx mm	DelVy mm	DelVz mm	Dabs mm	Phix mrad	Phiy mrad	Phiz mrad	Pabs mrad
Lastfall 1 (Ergebnisse)	-0.000	0.000	0.040	0.040	-1.328	-0.000	-0.001	1.328
Lastfall 2 (Ergebnisse)	0.0004	0.000	0.040	0.040	-1.328	-0.001	0.0016	1.328

Tabellenerklärungen:
 DelVx: Verschiebung in x-Richtung
 DelVy: Verschiebung in y-Richtung
 DelVz: Verschiebung in z-Richtung
 Dabs: Resultierende Verlagerung
 Phix: Verkipfung um die x-Achse
 Phiy: Verkipfung um die y-Achse
 Phiz: Verkipfung um die z-Achse
 Pabs: Resultierende Verkipfung

3.1.3.2. Finger-Ende (Linearachse 1 - Gesamtergebnis - Verlagerung)

Lastfall	DelVx	DelVy	DelVz	Dabs	Phix	Phiy	Phiz	Pabs
----------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmustererteilung. Die Unterlage ist vertraulich zu behandeln. Ohne unsere schriftliche Zustimmung darf weder die Unterlage selbst, noch Vervielfältigungen davon oder sonstige Wiedergaben des vollständigen oder auszugsweisen Inhalts Dritten zugänglich gemacht, werden oder durch den Empfänger in irgendeiner Weise weitergegeben werden. Es ist ausdrücklich von der Unterlage sind in der Unterlage enthalten. Die Unterlage ist ausschließlich für den angegebenen Verwendungszweck und unter Beachtung der geltenden Gesetze, Vorschriften und sonstigen Bestimmungen zu verwenden. Die Unterlage ist ohne Gewährleistung der Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität zu betrachten. Die Unterlage ist ohne Haftung für die darin enthaltenen Informationen zu betrachten. Die Unterlage ist ohne Haftung für die darin enthaltenen Informationen zu betrachten. Die Unterlage ist ohne Haftung für die darin enthaltenen Informationen zu betrachten.

Die Erarbeitung der Unterlage erfolgt ausschließlich im Zusammenhang mit dem Erwerb unserer Produkte. Die Ergebnisse der Unterlage sind sorgfältig und nach dem Stand der Technik erarbeitet, stellen jedoch im juristischen Sinne keine Beschaffenheits- oder Halbbareitsgarantie dar und ersetzen nicht die von Ihnen zu verifizierende Eignung. Wir haften für die Angaben in der Unterlage nur im Falle von Nachweis der Fahrlässigkeit. Ist die Unterlage Bestandteil einer Liefervereinbarung gelten die dort vereinbarten Haftungsregeln.



BEARINX online

Easy Linear

Lastfall	DelVx mm	DelVy mm	DelVz mm	Dabs mm	Phix mrad	Phiy mrad	Phiz mrad	Pabs mrad
Lastfall 1 (Ergebnisse)	-0,000 5	0,000 3	0,372 9	0,372 9	-1,328 7	-0,000 6	-0,001 1	1,328 7
Lastfall 2 (Ergebnisse)	0,0008 3	0,000 3	0,373 0	0,373 0	-1,328 9	-0,001 8	0,0016	1,328 9

Tabellenerklärungen:

DelVx: Verschiebung in

x-Richtung

DelVy: Verschiebung in

y-Richtung

DelVz: Verschiebung in

z-Richtung

Dabs: Resultierende

Verlagerung

Phix: Verkippung um die

x-Achse

Phiy: Verkippung um die

y-Achse

Phiz: Verkippung um die

z-Achse

Pabs: Resultierende Verkippung

3.1.4. Ergebnisse der Antriebe

3.1.4.1. Verhalten der Antriebe

Antrieb	Lastfall	Fx N	DelV x mm
Antrieb 1	Lastfall 1	-25,6 3	0,000
	Lastfall 2	25,63	0,000

Tabellenerklärungen:

Fx: Kraft am Antrieb in x-Richtung

DelVx: Verschiebung am Antrieb in
x-Richtung

Für diese Unterlage behalten wir uns alle Rechte vor, auch für den Fall der Patenterteilung oder Gebrauchsmustererteilung. Die Unterlage ist vertraulich zu behandeln. Ohne unsere schriftliche Zustimmung darf weder die Unterlage selbst, noch Vervielfältigungen davon oder sonstige Wiedergaben des vollständigen oder auszugsweisen Inhalts Dritten zugänglich gemacht, werden oder durch den Empfänger in irgendeiner Weise öffentlich zugänglich gemacht werden. Es sei denn, die Unterlage ist in der Unterlage ausdrücklich als öffentlich zugänglich gekennzeichnet. In diesem Fall sind die entsprechenden Rechte vorbehalten. Die Unterlage ist Eigentum der Schaeffler AG. Jegliche Rechte, die uns auf Grund der von Ihnen zur Verfügung gestellten Vorgaben erkennbar waren.