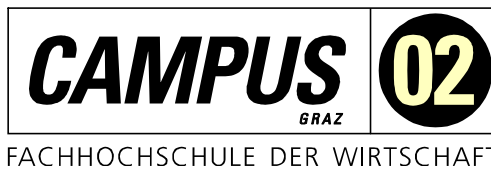


Masterarbeit

AUTOMATISCHE INBETRIEBNAHME EINES HOCHLAGEN-PALETTIERERS

ausgeführt am



Fachhochschul-Masterstudiengang
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

Daniel Anton Paul Oswald, B.Sc.

52011636

betreut und begutachtet von
Dipl.-Ing. Fasch Franz Michael

Graz, im Februar 2025


.....
Unterschrift

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.



Unterschrift

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich herzlich bei meinem Bereichsleiterteam innerhalb der Firma bedanken, das mir diese spannende und lehrreiche Arbeit ermöglicht hat. Mein besonderer Dank gilt jedoch meiner Familie, die mich in den letzten Jahren großartig unterstützt und mich sowohl fachlich als auch persönlich stets motiviert hat, mein Wissen kontinuierlich zu erweitern und neue Herausforderungen anzunehmen. Ihre beständige Unterstützung sowie ihre Hilfe, um zeitliche Einsparungen und Freiräume zu schaffen, haben mir einen großen Vorteil bei der erfolgreichen Gestaltung meines Studiums verschafft.

Mein besonderer Dank gilt außerdem meinem Betreuer, Dipl.-Ing. Franz Michael Fasch, der mir dieses Thema ermöglicht hat.

KURZFASSUNG

Die Verpackungstechnik und ihre Palettiermöglichkeiten werden kontinuierlich weiterentwickelt, um Verpackungseinheiten noch schneller und effektiver auf einer Palette platzieren zu können. Die Vielfalt der Verpackungseinheiten ist ständig im Wandel. Besonders die Leersackproduktion versucht stets neue Verpackungslösungen zu entwickeln, um den Endkunden eine einfache Handhabung der Säcke zu ermöglichen. Insbesondere die Vielzahl an verschiedenen Verpackungsgrößen hat Einfluss auf die heutigen Palettiermaschinen, die eine flexible Handhabung bieten sollten.

In dieser Arbeit wird ein Hochlagenpalettierer untersucht, der durch eine Zeitersparnis bei der Inbetriebnahme dem derzeitigen Fachkräftemangel entgegenwirken kann. Der Ablaufprozess der Lagenformung wird neu betrachtet und in seine einzelnen Systeme unterteilt. Diese Teilsysteme werden im Einklang mit einer automatischen Lagenformung analysiert. Der Hochlagenpalettierer wird für die automatische Lagenformung von Vollsäcken unterschiedlicher Gebindegrößen optimiert. Dafür ist es notwendig, den Palettierprozess in seinen einzelnen Systemen zu beschreiben, um mögliche Schwachstellen erkennen zu können.

Im Folgenden wird die bestehende Anlage untersucht und ein automatischer Ansatz für Lagenformung implementiert, um die Inbetriebnahme unterschiedlicher Lagenmuster möglichst zeitsparend durchzuführen. Das Zusammenspiel zwischen Motoren, Sensoren und Steuerungskomponenten spielt hierbei eine wesentliche Rolle. Auch der wirtschaftliche Aspekt wird durch eine Analyse zwischen Hochlagenpalettierern, Roboterpalettierern und deren Zeitersparnis bewertet.

In dieser Masterarbeit werden der Lagenformprozess und dessen mechanische sowie elektrische Einflussfaktoren untersucht. Die Analyse der verschiedenen Teilsysteme und deren Wechselwirkungen wird in Zusammenhang gesetzt. Zur Bewertung des optimierten Prozesses wurde die theoretische Analyse an einem Versuchsstand überprüft.

Die Versuchsreihen am Teststand zeigen, dass die gekoppelten Systeme sich gegenseitig beeinflussen. Eine Weiterentwicklung des Hochlagenpalettierers macht es wirtschaftlich und technisch möglich, die Funktion der Lagenformung ressourcenschonend und verständlich an Kunden zu vermitteln.

ABSTRACT

Packaging technology and palletizing options are continuously evolving to enable faster and more efficient placement of packaging units on a pallet. The variety of packaging units is constantly changing. In particular, the empty bag production sector consistently develops new packaging solutions to ensure easy handling for end users. The wide range of packaging sizes especially affects modern palletizing machines, which are expected to offer flexible handling.

This study investigates a high-level palletizer that can help the current shortage of skilled labor by reducing commissioning time. The layer formation process is re-evaluated and broken down into its individual systems. These subsystems are analyzed in conjunction with automated layer formation. The high-level palletizer is optimized for automatic layer formation of full bags in different package dimensions. This

requires a detailed description of the palletizing process in the individual systems to identify potential weaknesses.

The following sections explain the existing system and implement an automated approach to layer formation, for a time-efficient commissioning of different layers. The interaction between motors, sensors, and control components plays a main role in this process. An economic assessment is also carried out to compare high-level palletizers, robotic palletizers and their potential for time savings.

This master thesis examines the layer formation process, focusing on the mechanical and electrical factors influencing it. The research analyzes various components of the system and their interactions. To validate the improved process, tests were conducted and evaluated using a prototype.

Tests on the prototype show that the connected systems impact each other. New developments in high-level palletizer technology make it practical to explain how layer formation works to customers in a clear and resource-efficient way. This also helps save resources needed for training sessions on the high-level palletizer.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung	2
1.2	Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	2
2	Hochlagenpalettierer im Verpackungsprozess	4
3	Transportmittel und Transportsystem	6
3.1	Transportgut.....	6
3.2	Transporthilfsmittel	7
3.3	Transportsystem für den Hochlagenpalettierer	9
3.3.1	Stetigförderer	10
3.3.2	Unstetigförderer	11
4	Gebindezuförderung - Sackzuförderung	12
4.1	Pressband	13
4.2	Taktband	14
5	Komponenten der Lagenformung und Palettenfördertechnik	15
5.1	Mechanische Komponenten der Lagenformung.....	15
5.1.1	Drehstation.....	15
5.1.2	Lagenformband.....	17
5.1.3	Lagenabschieber, Übergabebalkon und Entladeplatte	17
5.1.4	Palettenfördertechnik.....	19
5.2	Hardwarekomponenten für die Lagenformung	21
5.2.1	Asynchronmotor.....	21
5.2.2	Synchron- Servomotor.....	24
5.2.3	Sensoren.....	24
5.2.4	IO-Link	27
5.3	Steuerungskomponenten.....	28
5.4	Funktion der Lagenformung.....	30
5.4.1	Subsystem des Pressbandes und Taktbandes	30
5.4.2	Subsystem der Drehstation	31
5.4.3	Subsystem der Übergang Drehstation auf Lagenformband	35
5.5	Subsystem der Lagenabschieber	40
5.6	Subsystem der Ladeplatte und Hubtisch.....	43
6	Prgramm implementierung am Versuchsaufbau.....	45
6.1	Versuchsaufbau	45
6.2	Überwachungszeit für Sackvereinzelnung	46
6.3	Zentrierzeit in der Drehstation	47
6.4	Verzögerndes Starten und Positionieren am Lagenformband	48
6.5	Zentrierzeit am Hubtisch.....	52
7	Erkenntnisse Frequenzumrichter-SPS für Positionierung.....	54
7.1	Frequenzumrichter Verhalten mit SPS – Ansteuerung	54

Inhaltsverzeichnis

7.2	Motordrehzahl.....	55
7.3	Rutschverhalten der Säcke.....	56
7.4	Korrekturfaktor für Zentrierzeit.....	58
7.5	Korrekturfaktor für Positionierung auf dem Lagenformband	59
7.6	Leuchtfleck des Sensors.....	60
7.7	Abstände zwischen den Säcken auf dem Lagenformband	62
8	Wirtschaftliche Betrachtung eines Palettierers	64
8.1	Inbetriebnahme eines Roboterpalettierers für Säcke	65
8.2	Inbetriebnahme eines Hochlagenpalettierers	67
8.3	Inbetriebnahmestunden für die grafische Darstellung des Hochlagenpalettierers.....	70
8.4	Technologien für die grafische Darstellung des Hochlagenpalettierers	72
9	Ergebnis und Ausblick.....	75
9.1	Vergleich herkömmliches System mit neuem System.....	75
9.2	Zukünftige Weiterentwicklungen.....	76
	Literaturverzeichnis	78
	Abbildungsverzeichnis.....	80
	Abkürzungsverzeichnis.....	82

1 EINLEITUNG

Diese Masterarbeit wird in Kooperation mit der Firma Statec Binder GmbH in Graz durchgeführt. Statec Binder GmbH ist ein weltweit tätiger Hersteller von Verpackungsmaschinen und Palettiersystemen. Der Fokus der Palettierertechnik liegt auf dem Palettieren von verschlossenen, vollen Säcken mit unterschiedlichen Sackdimensionen und Sackformen, portionierte und verpackte Einheiten. Auch die dafür notwendigen Leerpaletten, auf denen die Säcke palettiert werden, stellt der Endkunden dem Palettierprozess zur Verfügung.

Eine zentrale Herausforderung in der Palettierertechnik besteht darin, verschiedene Sackformate sicher auf einer definierten Palette zu platzieren, um den weiteren Logistikprozess reibungslos zu gestalten. Die Befüllung unterschiedlicher Produkte in variierende Sackmaterialien bringt zahlreiche Einflussfaktoren für den Palettierprozess mit sich.

Eine wesentliche Rolle spielt die Inbetriebnahme eines Hochlagenpalettierers, da sowohl das Bedienpersonal des Kunden als auch die firmeneigenen Techniker die Komplexität des Systems verstehen müssen, um schnell auf produktspezifische Eigenschaften reagieren zu können.

Es ist erforderlich, die mechanischen Komponenten eines Hochlagenpalettierers auf die jeweiligen Sackdimensionen und Palettengrößen abzustimmen. Für die Anpassung mechanischer, elektrischer und softwaretechnischer Komponenten ist umfangreiche Erfahrung notwendig, um das System einerseits robust und statisch zu gestalten und andererseits flexibel und benutzerfreundlich. Eine schnelle und einfache Handhabung kann die Inbetriebnahmezeit für verschiedene Lagenmuster erheblich verkürzen und den Personalaufwand für die dafür benötigte Zeit reduzieren.

Unterschiedliche Sackdimensionen, Palettentypen, mechanische Erweiterungen und Steuerungskonzepte, machen jeden Hochlagenpalettierer und deren Anbaukomponenten einzigartig. Daher ist es umso wichtiger, die Kernaufgabe eines Hochlagenpalettierers möglichst universell zu gestalten, um Zeitersparnisse bei der Inbetriebnahme und Schulung zu erreichen. Dies bietet einen entscheidenden Vorteil gegenüber Konkurrenzprodukten anderer Hersteller.

Der erste Schritt in dieser Optimierung besteht darin, eine automatische, grafische Lagenbildung zu entwickeln. Diese Funktion soll verhindern, dass die Inbetriebnahme jedes Hochlagenpalettierers zu einem zeitaufwendigen Entwicklungsprojekt wird. Ein neues automatisches Verfahren zur Formung eines Lagenmusters ermöglicht es die Bediener und Bedienerinnen, effizient und flexibel auf neue Anforderungen zu reagieren und unterstützt dabei zukünftige Entwicklungen voranzutreiben.

Zusätzlich kann eine fortschrittliche automatische Lagenformung dabei helfen, mögliche Probleme über eine Fernunterstützung zu beheben. Dies reduziert nicht nur den zeitlichen Aufwand, sondern steigert auch die Zuverlässigkeit und Effizienz des gesamten Systems.

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Der Fachkräftemangel hat auch die Firma Statec-Binder erreicht, weshalb Maßnahmen zur Ressourcenschonung erforderlich sind. Eine Möglichkeit bietet die Optimierung technologisch etablierter Systeme wie dem Hochlagenpalettierer. Ziel ist es, die Handhabung der Maschine zu vereinfachen und den Inbetriebnahmeprozess zu beschleunigen.

Die Palettierung von Offensäcken und Foliensäcken erfordert präzise Abstimmung der Produkteigenschaften mit den mechanischen Parameter. Aktuell erfolgt die Ausrichtung der Vollsäcke auf der Palette basierend auf empirischen Werten und zeitlichen Einstellungen. Da die Anforderungen je nach Anlage variieren, müssen Förderbandgeschwindigkeiten, Verzögerungszeiten und Positionierzeiten für jede Anlage manuell angepasst werden, um eine stabile Vollpalette zu gewährleisten.

Die Aufgabenstellung besteht darin, eine benutzerfreundliche und schnellere Methode zur Ermittlung der Maschinenparameter für den Palettierungsprozess zu entwickeln. Dabei sollen zeitliche Zusammenhänge zwischen den Systemkomponenten berücksichtigt und einfache, kostengünstige Technologien genutzt werden. Die Parameter der Lagenformung sollen sich automatisch anpassen, um den Inbetriebnahmeprozess zu optimieren. Hierbei sind Faktoren wie Bandgeschwindigkeiten, unterschiedliche Sackdimensionen und Palettendimensionen von zentraler Bedeutung. Die automatische Optimierung des Hochlagenpalettierers und der verschiedenen verwendeten Technologien soll untersucht werden, um den Inbetriebnahmeprozess zu beschleunigen und wirtschaftliche Kosten einzusparen.

1.2 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit

Das Ziel dieser Masterarbeit ist es, das bestehende Palettiersystem in seine einzelnen Systemgruppen zu zerlegen und die Zusammenhänge zwischen den Komponenten zu analysieren. Dabei sollen verschiedene Technologien eines Hochlagenpalettierers untersucht und hinsichtlich ihrer Abhängigkeiten bewertet werden.

Ein besonderer Fokus liegt auf der Analyse des Betriebsverhaltens der Frequenzumrichter in Verbindung mit der SPS, um eine exakte Positionierung zu gewährleisten. Zudem wird eine automatische Lagenformung am Lagenformband entwickelt, um den Inbetriebnahmeprozess zu optimieren.

Darüber hinaus wird überprüft, ob durch gezielte Systemoptimierung ein technologischer und wirtschaftlicher Vorteil erzielt werden kann und ob die vorhandenen Technologiekomponenten dafür ausreichen.

Die Gliederung der Arbeit beginnt mit dem Hochlagenpalettierer im Verpackungsprozess. Daraufhin wird das Transportmittel, die Sackspezifikationen, das Transportsystem sowie die unterschiedlichen Förderer beschrieben. Anschließend folgen die mechanischen Komponenten eines Hochlagenpalettierers bis hin zu den Hardwarekomponenten, einschließlich eines Asynchronmotors und dessen spezifischen Eigenschaften. Auch die Sensortechnologien, die für die Steuerung der Lagenformung zuständig sind, werden ausführlich beleuchtet.

Danach wird die Funktion der Lagenformung sowie die automatischen Ansätze zur Implementierung einer automatischen Lagenformung aufgezeigt. Diese automatischen Ansätze werden anschließend in kurzen Programmimplementierungen dargestellt und im Hinblick auf die Besonderheiten der Programmierung mit der Software TIA Portal beschrieben.

Durch die Testung des Programms werden Erkenntnisse über Frequenzumrichter und SPS im Zusammenhang mit Sensoren gewonnen, welche mithilfe von Korrekturfaktoren für die einzelnen Systeme erarbeitet gestützt werden. Die wirtschaftliche Betrachtung der Inbetriebnahme und einer automatischen Implementierung und deren abhängigen Faktoren, von der Inbetriebnahmezeit bis hin zu technologischen Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung, wird ebenfalls im wirtschaftlichen Kapitel beschrieben.

Zu guter Letzt wird das Ergebnis und der Ausblick dieser Arbeit erläutert.

Es wurde der KI-Schreibassistent ChatGPT (GPT-4o mini) verwendet, um Rechtschreibfehler, Grammatikfehler, Satzstellungsfehler und Zeichensetzungsfehler zu korrigieren.

2 HOCHLAGENPALETTIERER IM VERPACKUNGSPROZESS

Der Hochlagenpalettierer hat die Aufgabe, verschiedene Vollsackgrößen von unterschiedlichen Gebindearten möglichst stabil und schnell auf eine Palette zu palettieren. Die Kernprozesse der Palettierung liegen daher in der Gebindezuführung, der Lagenformung, dem Lagenabschub und dem Vollpalettentransport (siehe Abb.1). hat die Aufgabe unterschiedlichen Gebindearten, welche zumeist in Form eines Vollsackes gegeben sind, möglichst stabil und schnell auf eine Palette zu palettieren.

Je nach den örtlichen Gegebenheiten werden die Verpackungsstücke entweder mit einem Förderband zum Palettierer gebracht. Falls erforderlich, verfügt der Einlauf der Maschine über ein Zählwerk und eine Drehstation, um eine individuelle Packanordnung zu ermöglichen. Auch die Lagenformung wird automatisch gesteuert. Es gibt verschiedene Packanordnungen und Packgutgrößen, auf der die Anlage angepasst wird. Abhängig vom Packgut gelangen die Packstücke über Förderbänder oder Schieber zum Balkon. Dort werden sie unter Verwendung von Abschieber auf das Ladeblech gedrückt. Nachdem eine Lage komplett sortiert ist, erfolgt der Öffnungsvorgang des Ladeblechs und die Positionierung auf die Palette. Die Palette wird um eine Position gesenkt, und dieser Vorgang wird bis zur gewünschten Beladehöhe wiederholt. Die Palette, die beladen ist, wird mithilfe einer angetriebenen Rollengang ausgefahren.¹

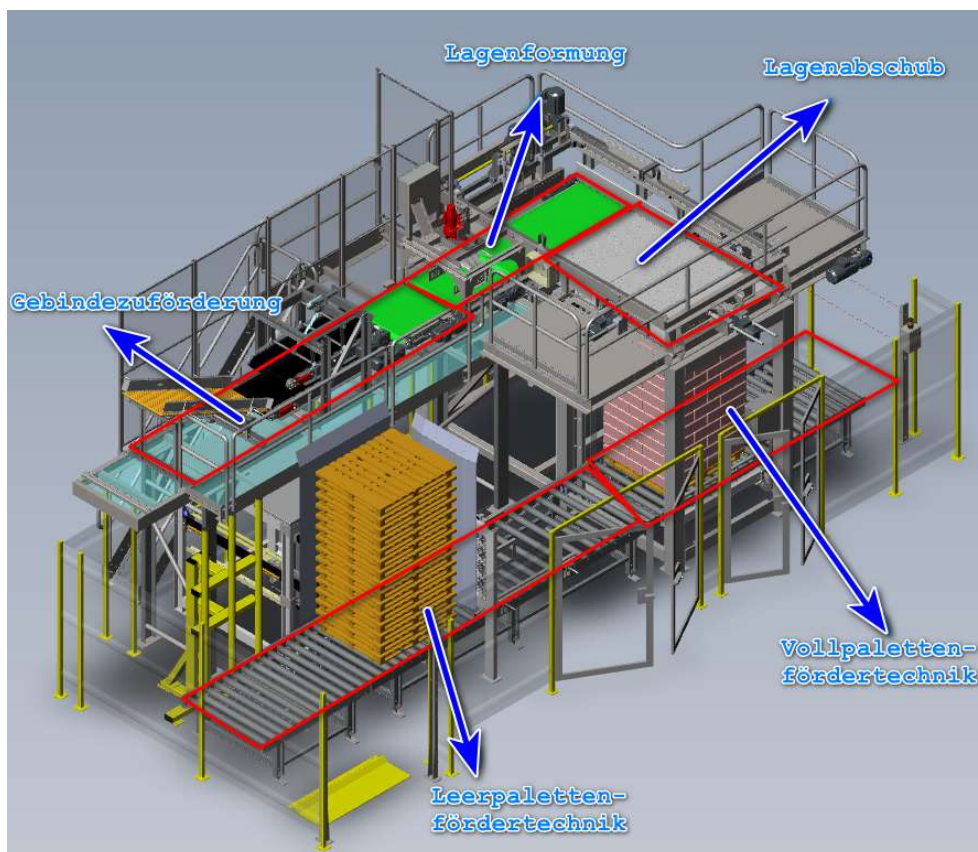


Abb. 1: Hochlagenpalettierer im Verpackungsprozess, Quelle: Eigene Darstellung

¹ Vgl. Dr. Peter Hilger(1965), S. 149 f.

In Abbildung 1 sind die mechanischen Hauptkomponenten eines modernen Hochlagenpalettierers der Firma Statec-Binder detailliert dargestellt. Die Anlage umfasst eine Gurtfördertechnik für die Gebindezufuhr, eine Staustrecke zur Pufferung der Gebinde und ein Homogenisierungsband, das für eine gleichmäßige Materialverteilung innerhalb des Sacks sorgt. Zudem enthält sie eine präzise Lagenformung, die durch eine Drehstation und ein Lagenformband realisiert wird, sowie eine Lagenabschiebestation, die die geformten Lagen effizient weiterleitet. Ergänzt wird das System durch eine Leerpalettenfördertechnik, die für die Zuführung der leeren Paletten zuständig ist und eine Vollpalettenfördertechnik, die den Abtransport der beladenen Paletten übernimmt. Durch die Kombination dieser Komponenten wird eine effiziente und automatisierte Palettierung gewährleistet.

3 TRANSPORTMITTEL UND TRANSPORTSYSTEM

In diesem Kapitel wird das verwendete Transportgut und deren verknüpftes Transporthilfsmittel für den Hochlagenpalettierer beleuchtet, welcher eine Komponente des innerbetrieblichen Materialflusses ist. Das Transportgut und Transporthilfsmittel wird über ein Transportsystem gefördert, welches wiederum aus unterschiedlichen Förderertypen besteht.

3.1 Transportgut

Als festes Transportgut kann Stückgut für den Hochlagenpalettierer klassifiziert werden. Als Stückgut bezeichnet man feste Transportgüter, die während des Transportes ihre Form nicht verändern und einzeln gehandhabt werden können. Diese umfassen verpackte und unverpackte Waren in unterschiedlichen Größen, Formen und Materialien, wie Pakete, Kisten, Säcke oder Container. Säcke können als Massenstückgut bezeichnet werden.²

Die Säcke für den Hochlagenpalettierer können stark variieren, um für unterschiedliche Verpackungsprozesse höchstmöglich flexibel gerüstet zu sein. Dabei spielen Faktoren wie Füllgewicht, Verpackungsmaterial und Verpackungsgröße eine wesentliche Rolle. Zusätzlich beeinflussen Sackeigenschaften wie Beschichtung, Formbarkeit und Fördereigenschaften die Lagenbildung.



Abb. 2: Gebinde-Vollsack, Quelle: Eigene Darstellung

² Vgl. Heinrich Martin (2021), S. 36 f.

Die Sackdimensionen können in Höhe, Länge und Breite variieren, ebenso in der Form des Sackkopfes und des Sackbodens. Der Sackboden und der Sackkopf haben einen erheblichen Einfluss auf die eingesetzte Sensortechnologie, insbesondere in Bezug auf die präzise Positionierung und Detektion der Säcke. Solche Variationen sind in Abbildung 2 dargestellt und verdeutlichen die Vielfalt, die im Palettierprozess berücksichtigt werden muss.

3.2 Transporthilfsmittel

Eine Palette hilft Stückgut wie Kisten, Säcke oder Schachteln zu einer größeren Einheit zusammenzufassen und nicht unterfahrbare Güter für Transportgeräte nutzbar zu machen. Die Paletten können aus Holz, Kunststoff, Stahl oder Aluminium bestehen.³

Europaletten sind widerstandsfähige, wiederverwertbare Holzpaletten, die eine Tragfähigkeit von bis zu 2000 kg aufweisen. Das EPAL-Siegel ermöglicht den Austausch und die Wiederverwendung, vor allem im europäischen Warenverkehr.⁴

Chemiepaletten, die aus Holz bestehen, werden häufig in der Chemieindustrie verwendet und müssen den spezifischen VCI-Normen entsprechen. Sie vereinfachen das Umwickeln mit Folie durch eingerückte Holzklötze. In der automatisierten Herstellung werden Industriepaletten in der Regel mit einer Größe von 1000 mm x 1200 mm verwendet, während Glaspaletten mit hoher Tragfähigkeit speziell für die Glasindustrie konzipiert wurden.⁵

Zu den weiteren Arten von Paletten gehören individuell angefertigte Sonderpaletten, robuste Vollholzpaletten, hygienische Kunststoffpaletten, preiswerte Pressholzpaletten und äußerst widerstandsfähige Metallpaletten für hohe Lasten. Kunststoffpaletten lassen sich problemlos reinigen.⁶



Abb. 3: Vollpalette, Quelle: Eigene Darstellung

³ Vgl. Heinrich Martin (2021), S. 39 ff.

⁴ Vgl. Aloysius Krenzer GmbH & Co. KG, Online-Quelle [05.11.2024]

⁵ Vgl. Aloysius Krenzer GmbH & Co. KG, Online-Quelle [05.11.2024]

⁶ Vgl. Aloysius Krenzer GmbH & Co. KG, Online-Quelle [05.11.2024]

Die Vollpalette, die als Beispiel in Abbildung 3 dargestellt ist, kann in Länge, Breite und Höhe variieren. Auch der Überstand auf den Palettengrundkörper kann in Abhängigkeit von Sacklänge, Sackbreite und dem Lagenformmuster unterschiedlich ausgeprägt sein. Dabei beeinflussen Faktoren wie die Stabilität der gestapelten Säcke, die Transportanforderungen und die Lagerungsvorgaben das endgültige Palettiermuster. Firmenspezifische Vorgaben spielen bei der Auswahl des Palettengrundkörpers, auch Leerpalette genannt, eine erhebliche Rolle bei der Wahl des Palettiermusters. Zusätzlich müssen internationale Standards wie EUR-Palettennormen berücksichtigt werden, um eine reibungslose Logistik und Kompatibilität mit bestehenden Fördersystemen sicherzustellen.

Das Palettiermuster und das Stapelschema dienen dazu, die Packfläche der Palette bestmöglich auszunutzen und gleichzeitig eine Ladungssicherung zu gewährleisten. Wenn Lagen mit unterschiedlichen Packmustern übereinandergestapelt werden, entsteht eine sogenannte Verbundstapelung. Wird hingegen jede Lage mit identischem Packmuster übereinander angeordnet, ergibt sich die Säulenstapelung oder Turmstapelung.⁷

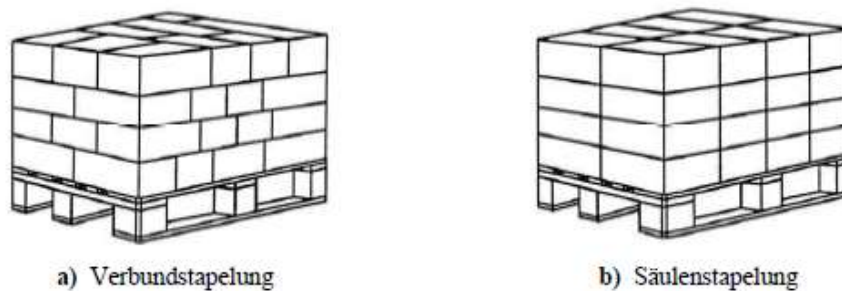


Abb. 4: Palettenstapelung, Quelle: Heinrich Martin (2016)⁸

Anhand der in Abbildung 4 dargestellten Stapeltypen sind in der folgenden Abbildung 5 die am häufigsten verwendeten Lagenmuster für Vollsäcke abgebildet. Verschiedene Muster, wie eine 3er Lage oder 5er Lage, bieten spezifische Vorteile hinsichtlich der Stabilität und Raumnutzung. Darüber hinaus beeinflussen auch die Beschaffenheit des Verpackungsmaterials und die Art der zu verwendenden Paletten den optimalen Stapelaufbau.

⁷ Vgl. Heinrich Martin (2016), S. 76 f.

⁸ Vgl. Heinrich Martin (2016), S. 76 f.

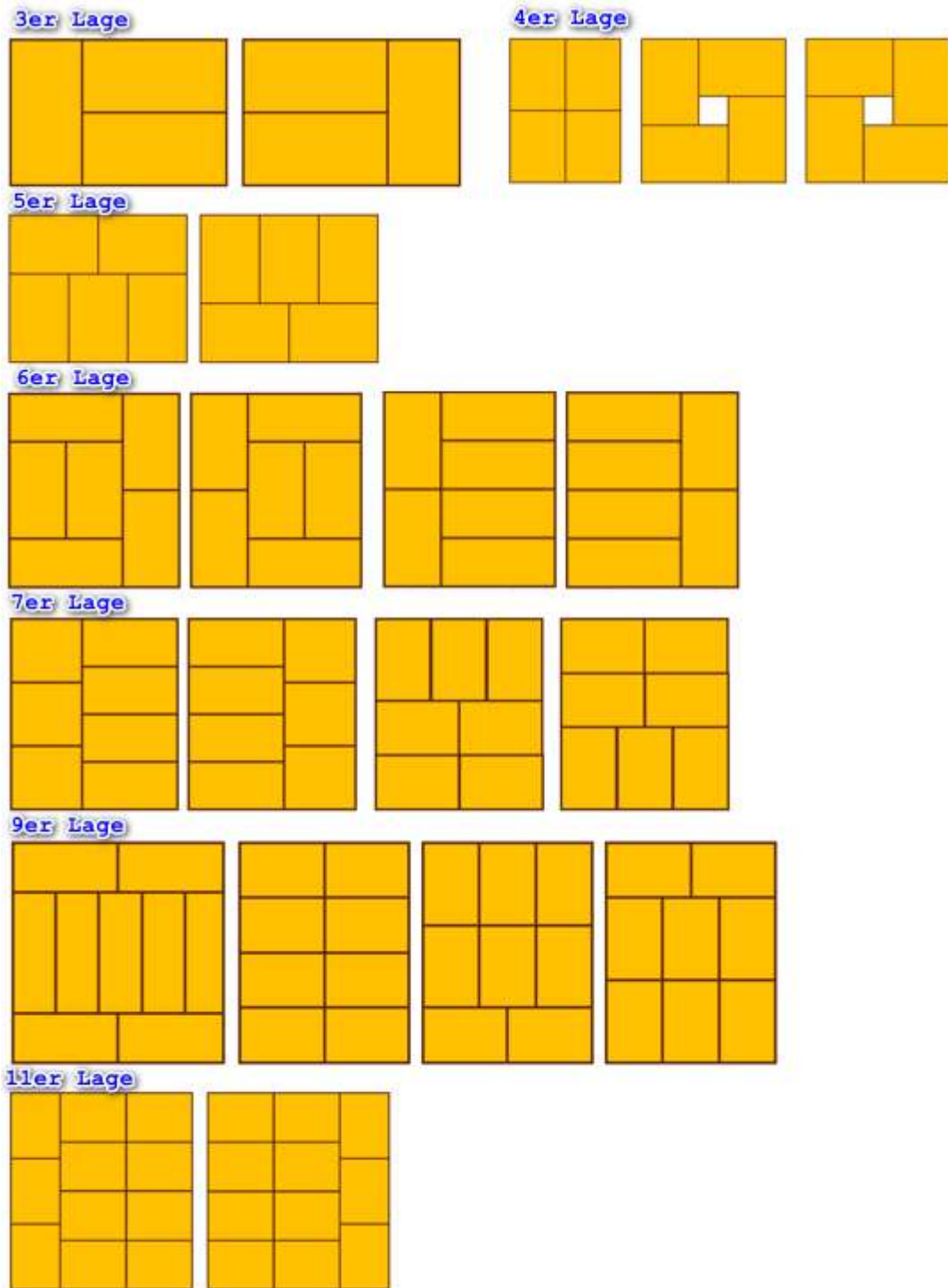


Abb. 5: Lagenmuster-Palette, Quelle: Eigene Darstellung

3.3 Transportsystem für den Hochlagenpalettierer

Das Transportsystem, welches aus unterschiedlichen oder identischen Transportmitteln besteht, hat die Aufgabe den innerbetrieblichen Materialfluss zu erfüllen. Ein Transportsystem ist nicht nur dafür ausgelegt,

dass es Transportmittel von einem Bereich in den nächsten transportiert, sondern es kann auch eine Pufferrolle einnehmen.⁹

Grundsätzlich unterscheidet man bei den Transportmitteln zwischen Unstetigförderer und Stetigförderer. In diesem Kapitel werden nur die Fördertypen beleuchtet, welche in einem Hochlagenpalettierer verwendet verbaut sind.

3.3.1 Stetigförderer

Der Stetigförderer ist dafür zuständig einen gleichmäßigen Transportstrom des Förderguts zu erfüllen und arbeitet über einen längeren Zeitraum ohne Unterbrechung. Daher wird der Antrieb für den Dauerbetrieb ausgelegt. Der Förderer wird oftmals nur mit einem Antrieb konstruiert und angetrieben.¹⁰

Bandförderer

Förderbänder gehören zu den üblichen Stetigförderern, die einen gleichmäßigen Materialfluss sicherstellen. Da ihre Förderleistung nach Beginn des Betriebs unabhängig von der Strecke ist, sind diese Förderanlagen besonders wirtschaftlich, wenn große Mengen über gleichbleibende Strecken transportiert werden müssen. Das Förderband kann neben der Förderfunktion auch weitere Funktionen übernehmen Zwischenlagern. Sie werden in unterschiedlichen Bereichen der Industrie eingesetzt, wie zum Beispiel in der Fließbandfertigung, im Bergbau und in Sortieranlagen. Die Stetigförderer können unterteilt werden anhand der Bauteile wie Gurtförderer, Becherwerke oder pneumatischen Förderer sowie dem Fördergut (Schüttgut oder Stückgut).¹¹

Schwerkrafftörderer (Rutschen)

Schwerkrafftörderer gehören zu den Rutschen und umfassen nicht angetriebene Rollenbahnen, bei denen sich das Transportgut entweder durch äußere Kräfte oder durch die Schwerkraft bewegt. Mit zunehmender Länge des Förderbands erhöht sich die Geschwindigkeit des Transportguts. Daher ist es oft notwendig, mechanische Bremssysteme zu integrieren.¹²

Schwerlastförderer

Schwerlastrollenförderer werden in verschiedenen Ausführungen für den Palettentransport eingesetzt. In der Industrie finden sie Anwendung für gerade Strecken, Richtungsänderungen, Kreuzungen, Drehtische, Richtungsumsetzer, Verzweigungen und Höhenanpassungen.¹³

Abschieber

Es handelt sich um eine Ausschleusung des Transportgutes, die quer zur Förderrichtung erfolgt. Der Abschiebevorgang kann durch schiebende, führende oder tragende Methoden durchgeführt werden. Dabei

⁹ Vgl. Heinrich Martin (2021), S. 62 f.

¹⁰ Vgl. Heinrich Martin (2021), S. 75 f.

¹¹ Vgl. Alfred Böge, Wolfgang Böge (Hrsg.), S. 1050 ff.

¹² Vgl. Heinrich Martin (2021), S. 101 f.

¹³ Vgl. Heinrich Martin (2021), S. 99 f.

ist jedoch zu beachten, dass die schiebende Methode zu einer Stoßwirkung auf das Förderband oder zu einer Veränderung des Transportgutes führen kann.¹⁴

3.3.2 Unstetigförderer

Der Unstetigförderer ist darauf ausgelegt, Schüttgut oder Stückgut in einzelnen Arbeitsschritten von einer Aufgabestelle zu einer Abgabestelle zu befördern. Der Betrieb zeichnet sich durch wechselnde Lastzyklen aus und erfolgt im Stillstand beim Be- und Entladen. Dadurch können die Antriebe für einen Kurzzeitbetrieb ausgelegt werden.¹⁵

Vertikalförderer (Hubtisch)

Der Vertikalförderer arbeitet mit Paletten und Behälter nach dem Aufzugsprinzip. Der Antrieb wird entweder über Seile, Ketten oder einem vertikal ausgerichteten Gurtförderer ausgestattet. Als Lastaufnahmemittel können Hubgabeln, Gurtförderer oder Rollenförderer eingesetzt werden. Dieser Lift besitzt eine hohe Positioniergenauigkeit.¹⁶

¹⁴ Vgl. Heinrich Martin (2021), S. 97 f.

¹⁵ Vgl. Heinrich Martin (2021), S. 125 f.

¹⁶ Vgl. Heinrich Martin (2021), S. 128 f.

4 GEBINDEZUFÖRDERUNG - SACKZUFÖRDERUNG

Am Anfang des Hochlagenpalettierers steht die Gebindezuförderung. In der Nachfolgenden Grafik (Abbildung 6) wird die Gebindezuförderung für Vollsäcke schematisch dargestellt.

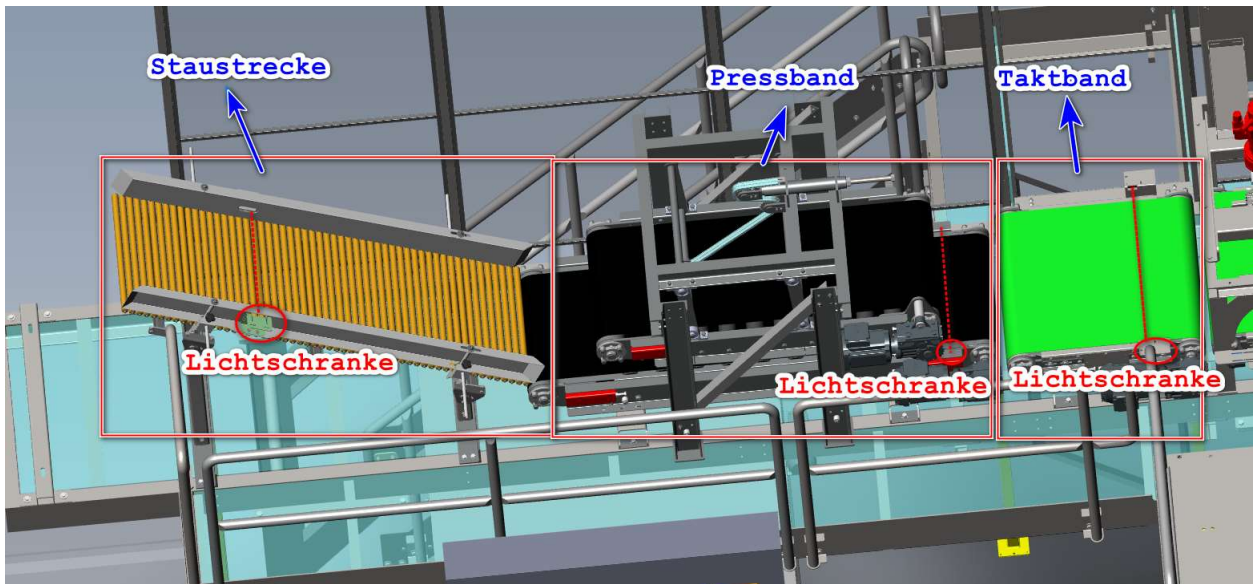


Abb. 6: Gebindezuförderung, Quelle: Eigene Darstellung

Eine Staustrecke ermöglicht einen kontinuierlichen Sacktransport im Falle eines kurzzeitigen Ausfalls der Lagenformung. Eine Lichtschranke, die im oberen Drittel eingebaut ist, detektiert, ob die Staustrecke bereits gefüllt ist und stoppt gegebenenfalls die vorhergehende Fördertechnik.

Wenn die Beschaffungsmenge die Produktionsmenge übersteigt, wird das überschüssige Material eingelagert. Man spricht in diesem Fall von einer Ausgleichsfunktion des Prozesses. Eine Optimierung der Produktzuförderung kann diese Situation nicht immer verhindern.¹⁷

Außerdem befindet sich nach der Staustrecke ein Pressband, das einerseits die Vollsäcke formt, um eine gleichmäßige Produktverteilung im Vollsack sicherzustellen und andererseits ein Nachrutschen der Säcke von der Staustrecke verhindert. Besonders bei 50 Kilogramm Säcken wird der Druck der gestauten Säcke so hoch, dass sie ohne Pressband anfangen würden nach zu rutschen. Am Ende des Pressbandes ist eine weitere Lichtschranke installiert, um die Vollsäcke zu erfassen und sie nach der Staustrecke erfolgreich zu takten. Auf dem Taktband darf sich nur ein Vollsack befinden, um einen sicheren Transport zur anschließenden Drehstation zu gewährleisten.

¹⁷ Vgl. Helmut Wannewetsch (2010), S. 307 f.

4.1 Pressband

Für die Gebindezufuhr wird eine Gurtfördertechnik verwendet, um die Vollsäcke von einer Station zur nächsten zu befördern.

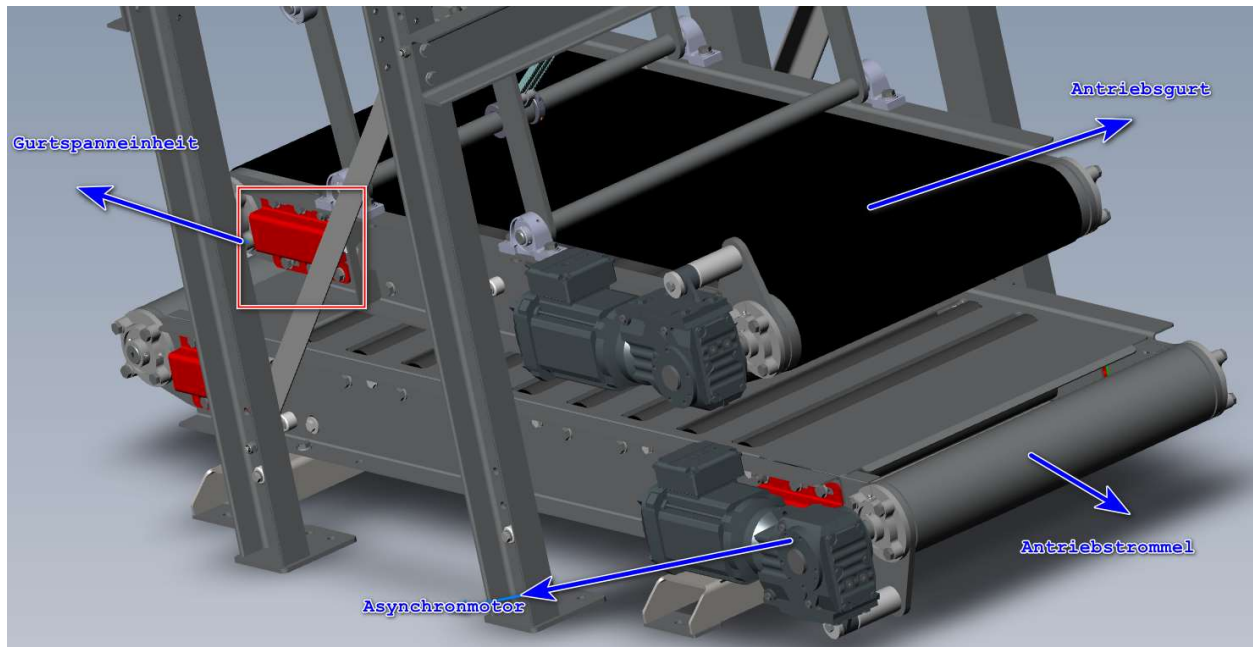


Abb. 7: Stetigförderer-Pressband, Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 7 ist das Pressband zu sehen, wobei deutlich wird, dass am unteren Förderer zusätzliche Rollen eingebaut sind, um den Vollsack bestmöglich zu pressen. Diese Konstruktion gewährleistet eine gleichmäßige Verdichtung der Säcke und trägt zur Stabilität der späteren Palette bei. Außerdem werden die einzelnen Komponenten dargestellt, die für einen Gurtförderer erforderlich sind. Zu diesen zählen unter anderem der Antrieb, Umlenkrollen, Spannstationen und das Förderband selbst.

Der Asynchronmotor, der den Antrieb des Förderers übernimmt, wird im [Kapitel 5.2.1](#) detaillierter beschrieben. Hierbei handelt es sich um einen Stetigförderer ([Kapitel 3.3.1](#)), der Stücke kontinuierlich entlang vorgegebener Strecken transportiert und durch seine robuste Bauweise eine hohe Zuverlässigkeit bietet.

4.2 Taktband

Für den Transport vom Pressband zur Drehstation kann ein zusätzliches Taktband verbaut werden, um zusammengeschobene Säcke auseinander takten zu können.

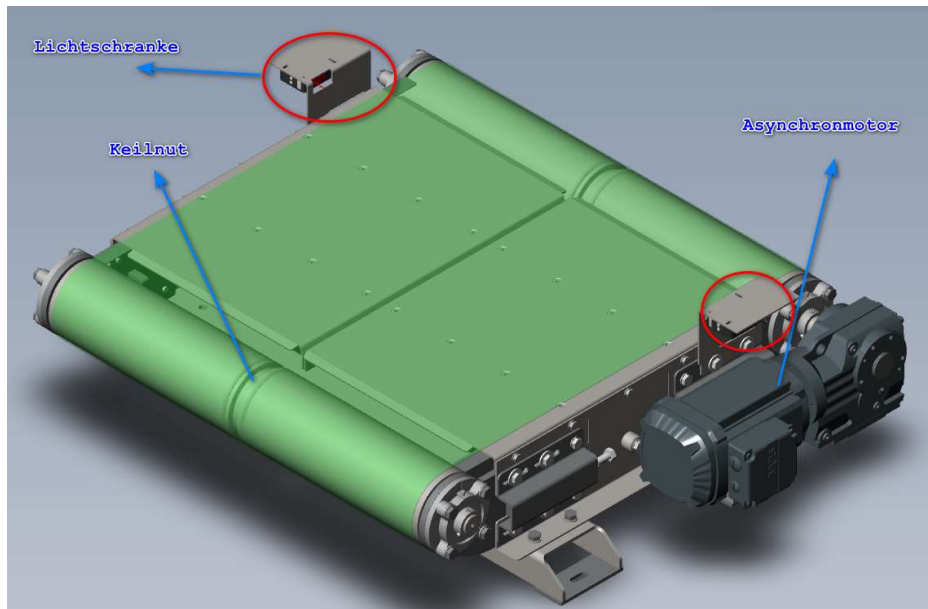


Abb. 8: Taktband, Quelle: Eigene Darstellung

Das Taktband enthält eine Keilnut, welche in Abbildung 8 dargestellt ist, diese ist dafür zuständig den Geradlauf des Gurtes möglichst beizubehalten.

Der Fördergurt läuft durch die Keilnut ruhig und stabil geradeaus und kann daher im Reversierbetrieb eingesetzt werden. Ist das Breite-Längen-Verhältnis zu groß ist eine Führung durch einen Keil zwingend erforderlich.¹⁸

Als Antriebsart wird ein Asynchronmotor verwendet, welcher im [Kapitel 5.1.1](#) beschrieben wird.

Die Erkennung, ob ein Vollsack vorhanden ist, wird von einer Lichtschranke übernommen. Genauere Erläuterungen zur Lichtschranke sind im [Kapitel 5.2.3](#) beschrieben.

Das Taktband besteht aus einem Oberflächenmaterial aus Polyvinylchlorid (PVC) mit einer Gewebestruktur, die für Anti-Rutsch-Anwendungen ausgelegt ist. Diese Struktur verhindert ein Durchrutschen der Vollsäcke beim Starten und Stoppen des Förderbandes. Laut Forbo Siegling GmbH beträgt der Reibungskoeffizient auf der Laufseite gegen Stahlblech 0,2.

¹⁸ Vgl. MM Engineering GmbH, Online-Quelle [04.11.2024]

5 KOMPONENTEN DER LAGENFORMUNG UND PALETTFÖRDERTECHNIK

Die zentrale Komponente des Hochlagenpalettierers ist ein präzise abgestimmtes mechanisches und elektrotechnisches System, das durch Steuerungskomponenten und entsprechende Software koordiniert werden muss.

5.1 Mechanische Komponenten der Lagenformung

Nachdem die Säcke zugeführt und auseinandergearbeitet wurden, werden sie in ein Lagenmuster positioniert. Daher werden in diesem Kapitel alle relevanten mechanischen Bauteile für die Lagenformung aufgezeigt. Für die Lagenformung sind die Drehstation, das Lagenformband und der Abschieber zuständig.

5.1.1 Drehstation

Für die Ausrichtung der Vollsäcke auf der Palette ist die Drehstation zuständig. Zusammen mit dem Lagenformband, welches in Kapitel 3.4 beschrieben wird, bildet sie den Kernbereich der Lagenformung.

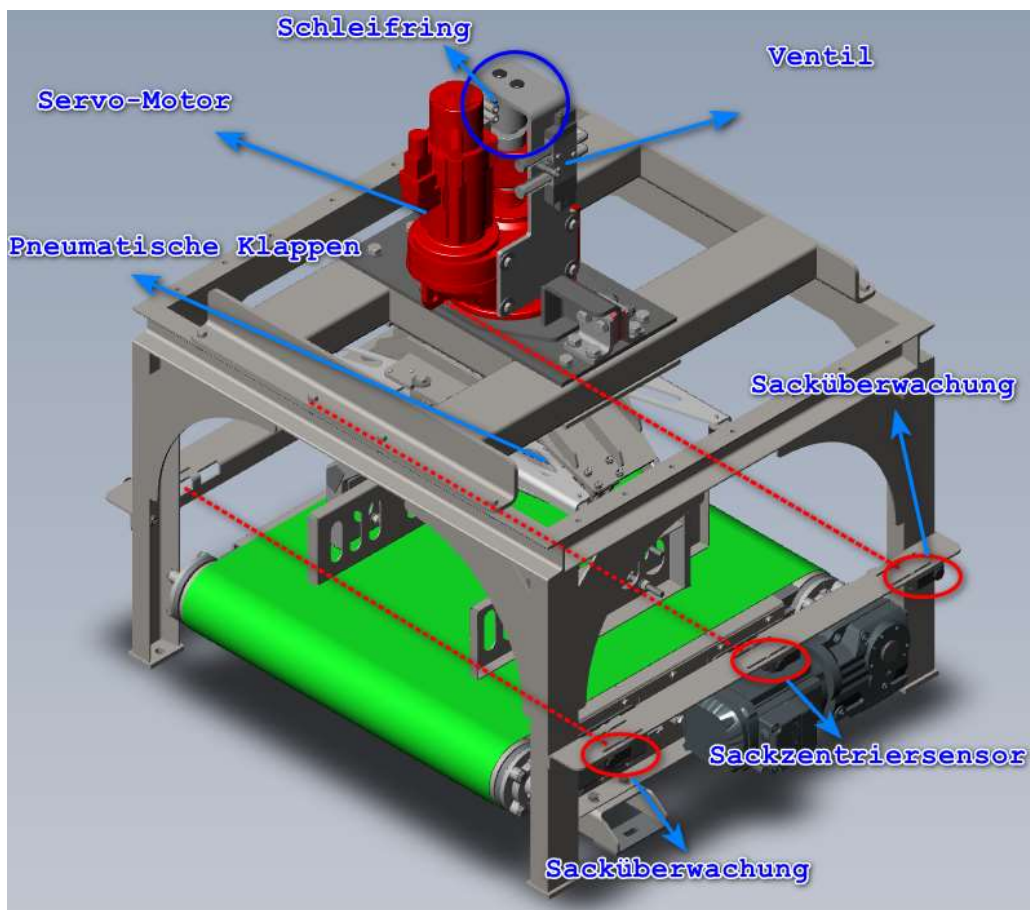


Abb. 9: Drehstation, Quelle: Eigene Darstellung

Die in Abbildung 9 dargestellte Drehstation besteht aus den Komponenten eines Drehförderbandes mit Keilleiste (siehe [Kapitel 4.2](#)), einer pneumatischen Klappe zum Festhalten der Säcke, sowie einem Servo- oder Asynchronmotor zum Ausrichten der Säcke auf 0 Grad, -90 Grad, +90 Grad und 180 Grad. Die

Ausrichtung der Säcke ist abhängig von der Lagenbildung, sowie ob sich der Sackboden oder Sackkopf ([siehe Kapitel 3.1](#)) auf der Vollpalette außen oder Innen befindet. Zwei Überwachungslichtschranken am Eingang und Ausgang des Förderbands überwachen während der Drehung des Vollsacks, ob dieser mithilfe der Sackzentrierungslichtschranke mittig positioniert ist. Sollte während der Drehung eine der Überwachungslichtschranken ausgelöst werden, stoppt der Drehvorgang sofort, um mechanische Schäden am Vollsack sowie an der Mechanik zu verhindern.

Das Drehförderband besteht aus einem Oberflächenmaterial mit einer Polyurethan-imprägnierten Gewebestruktur. Diese ermöglicht eine Drehung des Vollsacks, ohne dass es zu signifikanter Abnutzung an der Sackverpackung oder am Förderbandgurt kommt. Die Reibungszahl auf der Laufseite gegen Stahlblech wird von der Firma Forbo Siegling GmbH mit 0,18 ausgewiesen.

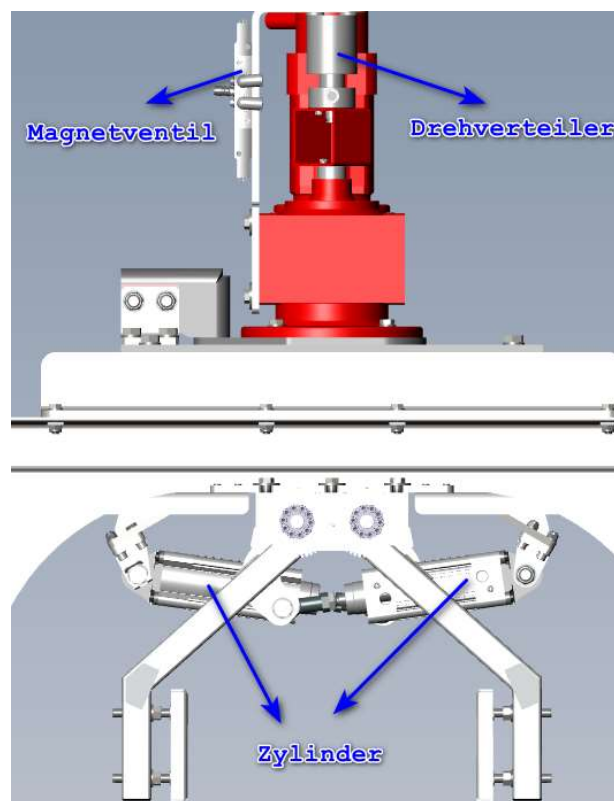


Abb. 10: Drehklappen, Quelle: Eigene Darstellung

Eine pneumatische Klappensteuerung, bestehend aus zwei Zylindern und einem Magnetventil, ist für das Festhalten der Vollsäcke zuständig. Die beiden Zylinder sind über Zahnräder mechanisch gekoppelt, um eine synchrone Schließbewegung zu gewährleisten. Die Druckluftversorgung erfolgt über einen Drehverteiler, der sich oberhalb der Motorwelle befindet, und wird durch die Hohlwelle zu den Zylindern geleitet. Ist die Zentrierzeit ([siehe Kapitel 6.3](#)) oder die Verzögerungszeit für das Schließen der Klemmung abgelaufen, wird das Ventil angesteuert, das die Zylinder schließt und die Drehsequenz wird ausgelöst. Der Drehvorgang wird durch einen Servomotor oder einen Asynchronmotor ausgeführt.

5.1.2 Lagenformband

Das Lagenformband, welches ein Stetigförderer ist, hat die Aufgabe die bereits richtig gedrehten Säcke auf dem Förderband zu Stauen bis der Abschieber ([siehe Kapitel 5.1.3](#)) die gestauten Säcke übernimmt und Richtung Endladeplatte transportiert.

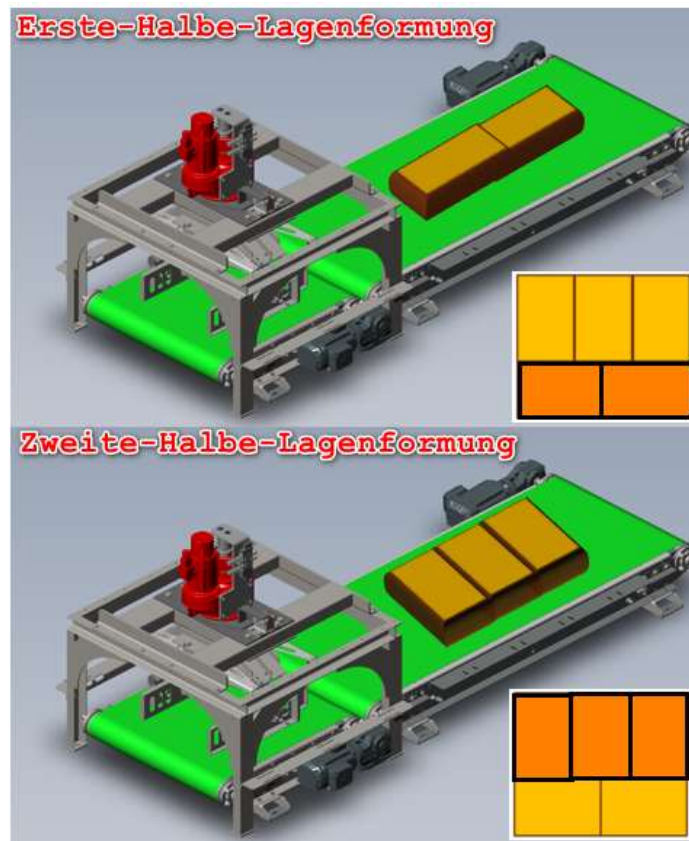


Abb. 11: Lageformband, Quelle Eigene Darstellung

Aus der Grafik in Abbildung 11 ist ersichtlich, dass das Lagenformband die von der Drehstation übergebenen Vollsäcke aufstaut und durch einen Asynchronmotor angetrieben wird. Die Eigenschaften des Fördergurts entsprechen denen des Drehförderers. Der Prozess der Lagenbildung auf dem Lagenformband wird in [Kapitel 5](#) beschrieben.

5.1.3 Lagenabschieber, Übergabebalkon und Entladeplatte

Der Lagenabschieber transportiert die Säcke von dem Lagenformband zur Entladeplatte. Je nach Kapazitätsanforderungen können einer oder zwei Lagenabschieber verwendet werden. Der Übergabebalkon kann dafür genutzt werden zusätzliche Bufferplätze für die gestauten Säcke zu bieten, bevor sie auf die Entladeplatte transportiert werden.

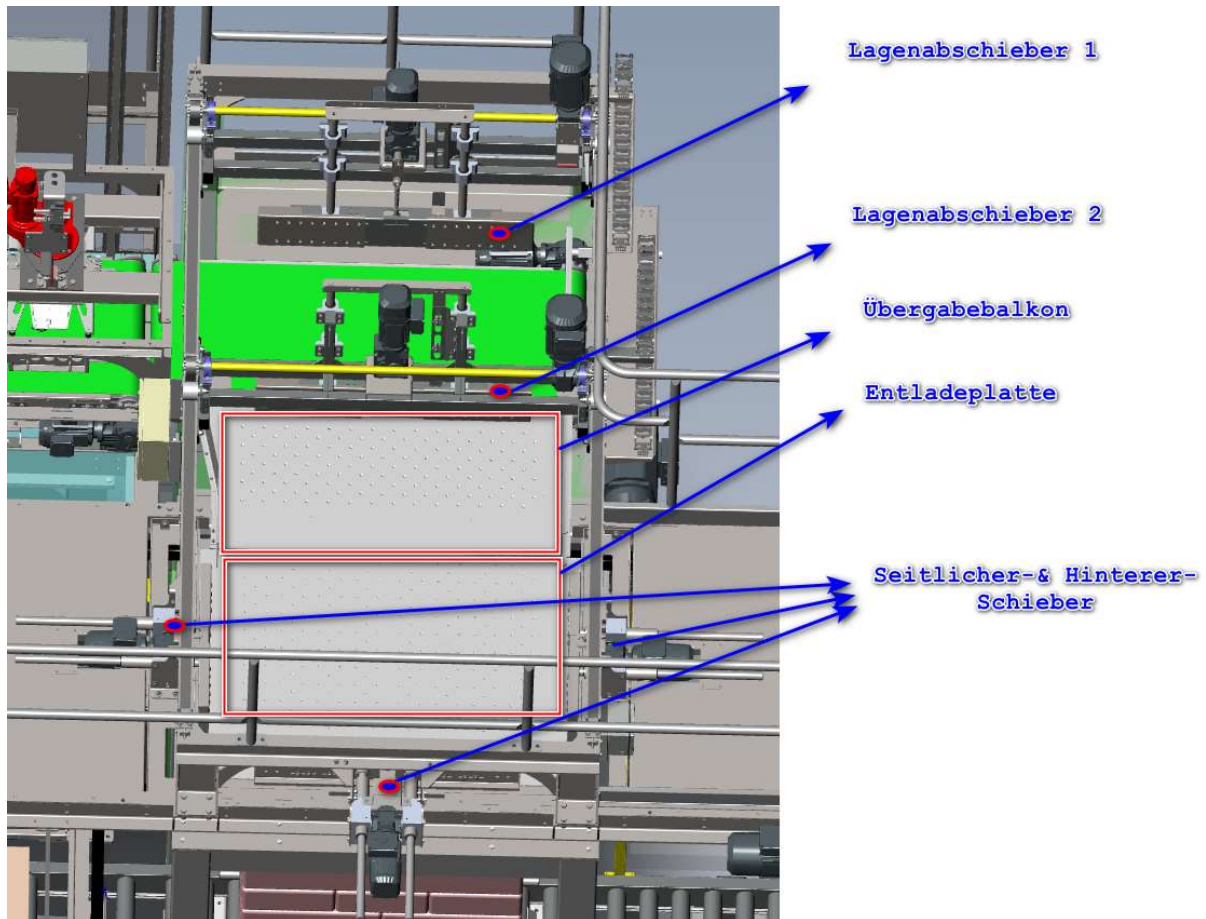


Abb. 12: Abschieber-Entladeplatte, Quelle: Eigene Darstellung

Der Lagenabschieber, welcher in Abbildung 12 dargestellt ist, wird gegen die Förderrichtung dargestellt und besitzt eine Prallblech, welches mittels Asynchronmotor gehoben und gesenkt werden kann. Die aktuelle Positionserkennung des Lagenabschiebers wird mithilfe eines Motorgebers realisiert. Auch die Positionen des seitlichen Schiebers und des hinteren Schiebers werden mittels Motorgeber abgefragt.

Mithilfe von induktiven Näherungssensoren können die Positionen des Lagenabschiebers erkannt werden. Diese Positionen werden einerseits für das Heben und Senken und andererseits für die Referenzposition benötigt. In der Abbildung 13 werden die drei Positionen der Sensoren hervorgehoben.

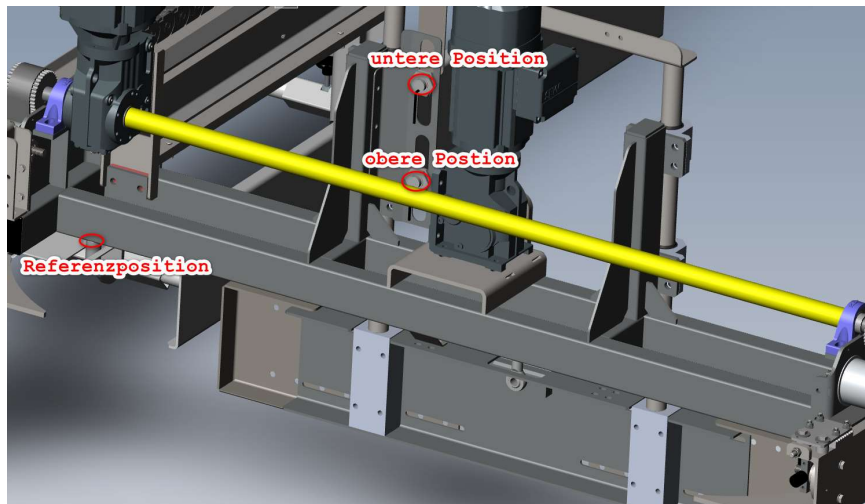


Abb. 13: Lagenabschieber, Quelle: Eigene Darstellung

Die seitlichen Schieber und der hintere Schieber haben einen Referenzsensor zur Bestimmung der Nullposition. In der nachstehenden Grafik wird die Position des Referenzsensors dargestellt.

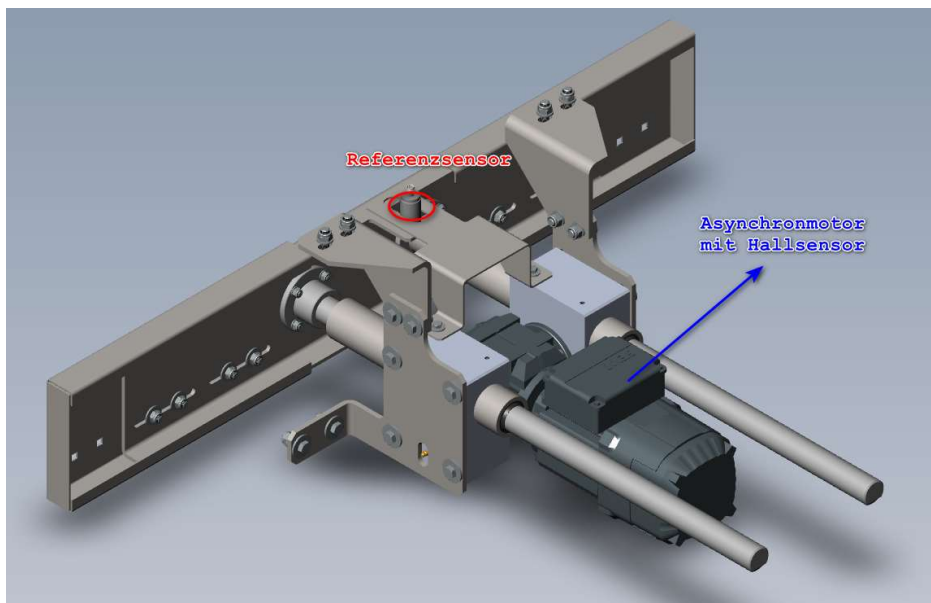


Abb. 14: Schieber, Quelle: Eigene Darstellung

Die Bauart der seitlichen und hinteren Schieber ist gleich; nur die Länge des Prallblechs ist bei den seitlichen Schiebern kürzer, da sie sich immer auf der Breitseite der Palette befinden.

5.1.4 Palettenfördertechnik

Mithilfe der Palettenfördertechnik werden Leerpaletten in die Hubtischstation transportiert, dort über ein Liftsystem unter die Ladeplatte positioniert und nach dem Palettiervorgang wieder über die Vollpalettentechnik ausgefördert. Dabei wird die Palette auf dem Hubtisch präzise zentriert, um das Lagenmuster korrekt auf der Palette zu platzieren. Nach dem Palettieren wird die fertige Palette durch die Vollpalettenfördertechnik zur nächsten Station transportiert, wo sie entweder weiterverarbeitet oder für den Versand vorbereitet wird.

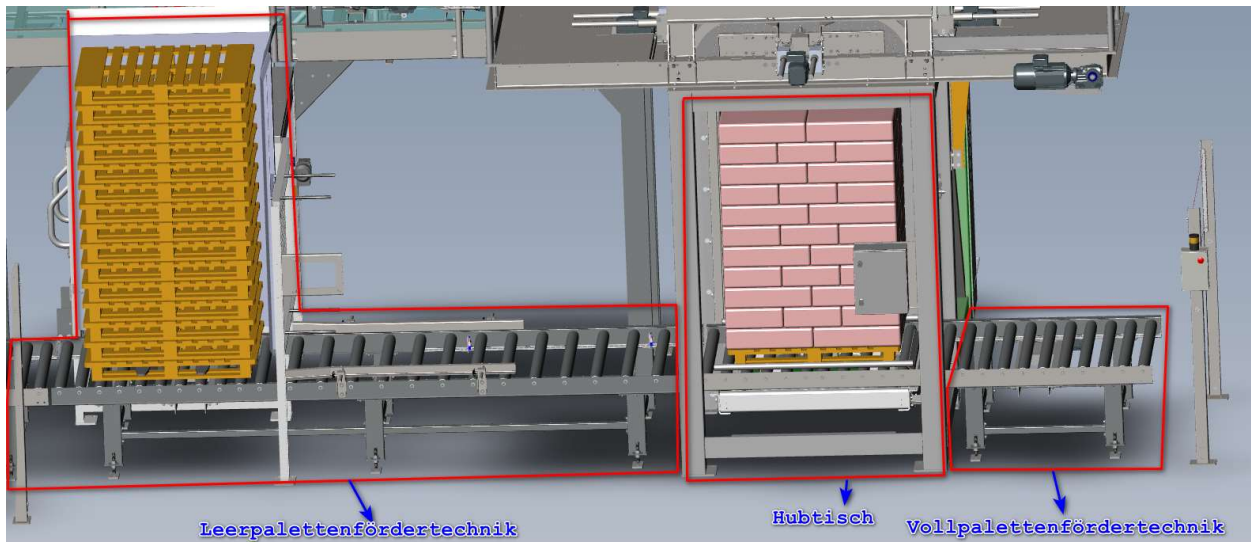


Abb. 15: Palettenfördertechnik, Quelle: Eigene Darstellung

Die Leerpalettenfördertechnik, wie in Abbildung 15 dargestellt, ist dafür zuständig, einen Leerpalettenstapel zu depalettieren und anschließend eine Leerpalette der Hubtischstation zur Verfügung zu stellen. Der Hubtisch, der während der Leerpalettenübernahme auf gleicher Höhe wie die Leerpalettenfördertechnik steht, übernimmt die Palette und positioniert sie anschließend unter der Ladeplatte. Nach dem Palettieren der letzten Lage fährt der Hubtisch wieder auf die gleiche Höhe wie die Vollpalettenfördertechnik und transportiert diese weiter.

5.2 Hardwarekomponenten für die Lagenformung

Die zuvor mechanischen Komponenten werden durch verschiedene Sensoren und mehreren Antriebstechnologien von einer Speicherprogrammierbaren Steuerung gesteuert.

5.2.1 Asynchronmotor

Der Asynchronmotor ist ein weit verbreiteter Motor, der wenig Wartung erfordert und einen standardisierten mechanischen Aufbau hat. Er besteht hauptsächlich aus einem feststehenden Stator und einem drehenden Rotor. Der Stator enthält meist zwei Kugellager für die Rotorlagerung, ein Gehäuse für den elektrischen Anschluss, sowie einen Ventilator zur Motorkühlung, welcher direkt mit dem Rotor verbunden ist. Im Statorgehäuse sitzt ein Eisenkern mit Phasenwicklungen, die ein Magnetfeld erzeugen, welches rotiert. Die Geschwindigkeit des Magnetfelds im Stator und damit verbundene synchrone Drehzahl des Motors, wird durch die Polpaarzahl und die Frequenz der Versorgungsspannung bestimmt.¹⁹

Das drehende Magnetfeld des Asynchronmotors erzeugt durch Induktion eine Spannung in der Rotorwicklung oder den Rotorstäben, die dann Kurzschlussströme verursacht. Diese Ströme üben ein Drehmoment auf den Rotor aus. Mit steigender Drehzahl des Rotors wird der Unterschied zwischen der Drehfeldgeschwindigkeit des Stators und der Rotor-Drehzahl geringer, was wiederum die Frequenz der induzierten Spannung und die Stromstärke im Rotor verringert, wodurch sich das Drehmoment steigt. Würde der Rotor mit synchroner Drehzahl laufen, gebe es keine Spannung mehr die induziert wird und der Motor könnte kein Drehmoment aufbauen. Daher bleiben stets kleinere Geschwindigkeitsunterschiede zwischen Rotordrehzahl und Stator Drehzahl bestehen, der durch das Lastmoment und die Reibung verursacht wird. Die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen dem Rotordrehzahl und Startordrehzahl wird als Schlupf bezeichnet und kann bei SEW-Motoren zwischen 2 und 15 Prozent betragen.²⁰

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{p} \quad (5.1) \quad n_s / \text{min}^{-1} \quad \text{Synchrone Drehzahl}$$

$$f / \text{s}^{-1} \quad \text{Netzfrequenz}$$

$$p \quad \text{Polpaarzahl des Motors}$$

$$s = \frac{n_s - n_n}{n_s} * 100 [\%] \quad (5.2) \quad s / \%$$

$$n_n / \text{min}^{-1} \quad \text{Nenn Drehzahl des Motors}$$

Für das Drehförderband (siehe [Kapitel 5.1.1](#)) wurde ein Asynchronmotor mit einem Getriebe, der Firma SEW verwendet. Die nachfolgende Abbildung 14 zeigt das Typenschild des Motors. Grundsätzlich werden alle Fördertechnik-Motoren in Sternschaltung betrieben.

¹⁹ Vgl. Alfred Böge, Wolfgang Böge (Hrsg.), S. 614 ff.

²⁰ Vgl. SEW Eurodrive, Online-Quelle [04.11.2024]

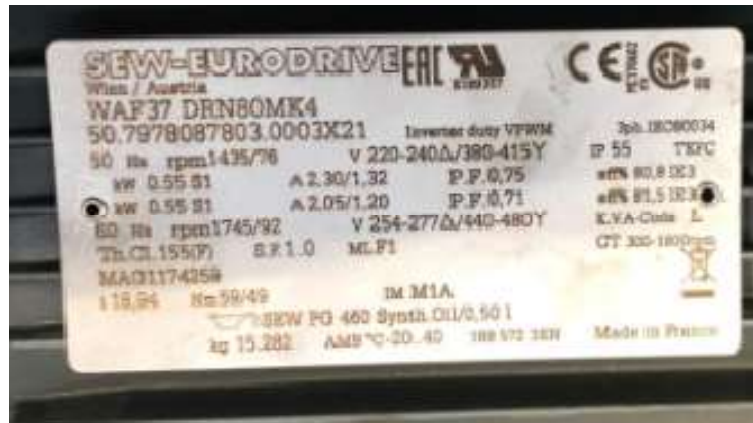


Abb. 16: Typenschild Asynchronmotor, Quelle: Eigene Darstellung

Anhand der Abbildung 16 kann man erkennen, dass dieser Motor sowohl in Sternschaltung als auch in Dreieckschaltung betrieben werden kann. Das Angezeigte Typenschild wurde vom Taktband ([siehe Kapitel 4.2](#)) entnommen.

Für das Pressband, Lagenformband und Taktband wird aus kostentechnischen Gründen ein Asynchronmotor bei einem Hochlagenpalettierer verwendet.

Für die Positionierung des Lagenabschieber, sowie der seitlichen Schieber und des hinteren Schiebers wird zusätzlich ein integrierter Einbau-Inkrementalgeber im Asynchronmotor verbaut. Dieser Geber wird von der Speicherprogrammierbaren Steuerung ausgewertet.

Der verwendete Geber arbeitet mithilfe von zwei Hall-Sensoren für die A-Spur und B-Spur und macht dadurch eine Realisierung für eine einfache Positionierungen und Drehzahlüberwachungen möglich.²¹

Frequenzumrichter für Asynchronmaschinen

Der Frequenzumrichter besteht aus vier Hauptkomponenten: Gleichrichter, Zwischenkreis, Wechselrichter und Steuerkreis. Der Gleichrichter erzeugt eine leicht wellige Gleichspannung, die im Zwischenkreis gepuffert wird und anschließend dem Wechselrichter zugeführt wird. Der Wechselrichter wiederum erzeugt eine variable Spannung und Frequenz für den angeschlossenen Motor. Der Steuerkreis sorgt für die Kommunikation des Gleichrichters, Zwischenkreises und Wechselrichters.²²

Für den Hochlagenpalettierer werden die Serie MOVITRAC-B Frequenzumrichter von der Firma SEW verwendet. Für die Förderbandtechnik werden Leistungsbereiche von 1,1 Kilowatt bis 1,5 Kilowatt Frequenzumrichter verwendet.

87-Hz-Kennlinie

Der Betrieb eines Motors über seiner Nennfrequenz kann durch den Feldschwächebetrieb oder über die 87-Hz-Kennlinie realisiert werden. Beide Methoden ermöglichen den Betrieb des Motors oberhalb seiner

²¹ Vgl. SEW Eurodrive, Online-Quelle [04.11.2024]

²² Vgl. Alfred Böge, Wolfgang Böge (Hrsg.), S. 624 ff.

Bemessungsfrequenz, wobei der Feldschwächbetrieb eine Reduzierung des Drehmoments bei gleichbleibender Leistung mit sich bringt.²³

Feldschwächbetrieb:

Der Motor befindet sich im Feldschwächbereich, wenn die Ausgangsspannung des Umrichters nicht mehr angehoben werden kann, während die Frequenz weiterhin erhöht wird. Das Verhältnis U/f kann nicht mehr konstant gehalten werden. Der Stromfluss in der Maschine sinkt, wodurch das Drehmoment bei steigender Drehzahl abnimmt. Der Umrichter wird entsprechend auf eine Frequenz über der Nennfrequenz eingestellt (z.B. 80 Hz bei 400 V), was die Drehzahl erhöht, jedoch das Drehmoment verringert, während die Leistung konstant bleibt.²⁴

Diese Betriebsweise kann bei Motoren angewendet werden, die sowohl für Stern- als auch Dreieckschaltung bei der Nennfrequenz geeignet sind. Dabei wird der Motor in Dreieckschaltung betrieben. Dies erlaubt es, die Motordrehzahl bei einem konstanten Drehmoment auf das $\sqrt{3}$ -fache der Nennfrequenz zu erhöhen.²⁵

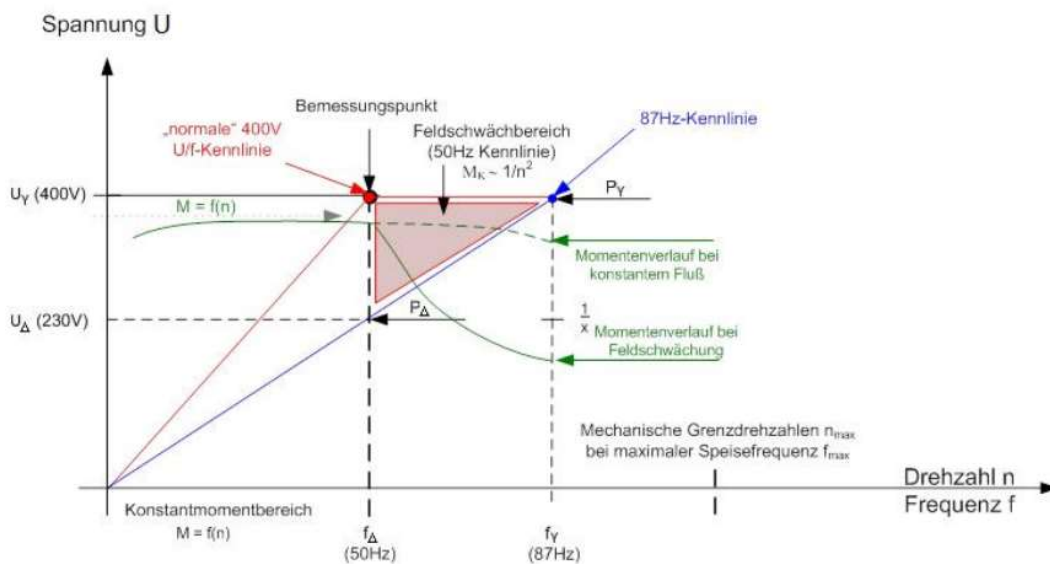


Abb. 17: Gegenüberstellung von Feldschwächebetrieb zu 87Hz-Kennlinie, Quelle: Online-Quelle[11.11.2024]²⁶

Aus der Drehmomentenkennlinie (Abbildung 17) wird ersichtlich, dass das Drehmoment bei einer Nennfrequenz von 50 Hz bis auf 87 Hz annähernd konstant bleibt. Wie zuvor beschrieben werden die Fördertechnikmotoren in Sternschaltung betrieben, daher befinden sich die Motoren bei höheren Bandgeschwindigkeiten im Feldschwächebereich und das Nennmoment des Motors kann nicht mehr gehalten werden.

²³ Vgl. Siemens AG 2024, Online-Quelle [05.11.2024], S. 7 f.

²⁴ Vgl. Siemens AG 2024, Online-Quelle [05.11.2024], S. 7 f.

²⁵ Vgl. Siemens AG 2024, Online-Quelle [05.11.2024], S. 7 f.

²⁶ Vgl. Siemens AG 2024, Online-Quelle [05.11.2024], S. 9 f.

5.2.2 Synchron- Servomotor

Für die Drehung der Säcke kann ein Servomotor verwendet werden, um möglichst eine hohe Taktzeit für den Sacktransport zu gewährleisten.

Die Servoregelung stellt eine spezielle Form der feldorientierten Vektorregelung dar, die für Antriebe mit hochdynamischer Bewegungsführung auf einer oder mehreren Achsen bei hohen Genauigkeitsanforderungen optimiert ist. Die wesentlichen Unterschiede liegen in einem weniger rechenintensiven Motormodell, kürzeren Abtastzeiten der Drehzahl- und Stromregler sowie einem geringeren Geberaufwand aufgrund der erforderlichen Rotorlageerfassung. Bevor jedoch näher auf die Motorführung und das Regelungskonzept der Servoregelung eingegangen wird, wird zunächst ein kurzer Überblick über Servomotoren gegeben.²⁷

Ein Synchron-Servomotor, welcher bei der Drehstation (siehe [Kapitel 5.1](#)) verwendet sein kann, setzt sich aus mehreren Bauteilen zusammen. Er enthält einen Rotor mit eingebauten Permanentmagneten, einen Stator mit entsprechenden Wicklungen, einen Leistungsanschluss sowie einen Geber zur genauen Positionsbestimmung und Drehzahlbestimmung.²⁸

Bei zahlreichen Anwendungen mit Drehbewegungen soll die Zielposition entweder auf dem kürzesten Weg erreicht werden (wegoptimierte Positionierung) oder eine definierte Drehrichtung einhalten. Um dies erreichen zu können, wird die Position Achse auf einem Kreis von 0 bis 360 Grad abgebildet, sodass die Ist-position stets innerhalb dieses Bereichs bleibt.²⁹

5.2.3 Sensoren

Unterschiedliche Sensoren werden zur Realisierung einer automatischen Lagenformung und zur Funktion des Hochlagenpalettierers eingesetzt. Während der Versuchsreihen werden verschiedene Eigenschaften der Sensoren beobachtet und ausgewertet. Die folgenden Sensoren werden im Zusammenhang mit der Versuchsreihe verwendet.

Einweglichtschranke

Zur Erkennung der Säcke auf den Förderbändern werden Lichtschranken verwendet.

Bei der Einweglichtschranke sind Sender und Empfänger in separaten Gehäusen gegenüberliegend installiert. Die Unterbrechung des Lichtstrahls zwischen ihnen dient als Grundlage für die Erfassung, wobei der Ort der Unterbrechung keine Rolle spielt. Alle Objekte, die den Lichtstrahl vollständig unterbrechen werden erkannt. Ist der Lichtstrahl bei transparenten Objekten jedoch nicht vollständig blockiert, kann die Erkennung falsch interpretiert werden.³⁰

Der Sensor WSE280-2P4331 von der Firma Sick wird im Hochlagenpalettierer eingesetzt und verfügt über eine Schallfrequenz von einem Hertz. Er erzeugt bei einer Entfernung von 20 Metern einen Lichtfleck mit

²⁷ Vgl. Günter Wellenreuther, Dieter Zastrow (2011), S. 719 f.

²⁸ Vgl. SEW Eurodrive, Online-Quelle [04.11.2024]

²⁹ Vgl. SEW Eurodrive, Online-Quelle [04.11.2024]

³⁰ Vgl. Berthold Heinrich, Petra Linke, Michael Glöckler (2017), S. 70 f.

einem Durchmesser von 0,6 Metern. Daher ist der Schaltungspunkt des Sensors bei größerem Objektabstand nicht immer eindeutig bestimmt.

Reflexionslichttaster

Der Reflexlichttaster wurde während des Versuchsaufbaus verwendet, um den kleineren Lichtfleck im Vergleich zur Einweglichtschranke auszunutzen.

Sender und Empfänger sind im gleichen Gehäuse untergebracht. Der Lichtstrahl des Senders wird vom erfassten Objekt reflektiert. Ein kleiner Teil des reflektierten Lichts erreicht den Empfänger und kann dadurch ein elektrisches Signal auslösen. Bei Objekten mit schlechtem Reflexionsgrad können spezielle Sensoren mit Hintergrundausblendung eingesetzt werden.³¹

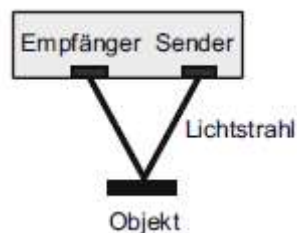


Abb. 18: Reflexionslichttaster, Quelle: Vgl. Berthold Heinrich, Petra Linke, Michael Glöckler³²

Für den Versuchsaufbau wird der Sensor WTB16P-24161220A00 von der Firma Sick verwendet. Dieser Lichttaster hat einen Lichtfleckgröße von 3 Millimeter Durchmesser in einer Entfernung von 200 Millimetern.

Jedoch ist dieser Sensor nur für helle Farben gut verwendbar, da dunkle Farben schwer zu detektieren sind. Daher ist der Einsatz eines solchen Systems nicht für alle Sackfarben geeignet.³³

Optischer Abstandssensor

Ein optischer Sensor für die Abstandsmessung wurde zum Abgleich der aktuellen Position des Sackes eingesetzt.

Mit dem Time-of-Flight (ToF)-Verfahren kann die Lichtlaufzeit eines ausgesendeten und reflektierten Lichtstrahls ermittelt werden. Um Distanzen in Echtzeit messen zu können, sind schnelle und empfindliche Sensoren erforderlich, die in der Lage sind, den Messimpuls vom Umgebungslicht zu unterscheiden und eine möglichst exakte Abstandsmessung des Objekts zu gewährleisten.³⁴

³¹ Vgl. Berthold Heinrich, Petra Linke, Michael Glöckler (2017), S. 72 f.

³² Vgl. Berthold Heinrich, Petra Linke, Michael Glöckler (2017) S. 72.

³³ Vgl. Daniel Anton Paul Oswald (2023), S. 26 f.

³⁴ Vgl. Fraunhofer IMS, Online-Quelle [04.11.2024]



Abb. 19: Abstandssensor, Quelle: Online-Quelle [04.11.2024] ³⁵

Ein Abstandssensor (Abbildung 19), der von der Firma IFM hergestellt wird, wird während des Versuchsaufbaus eingesetzt, um die aktuelle Position der Säcke schnell bestimmen zu können. Die Messfrequenz wird auf 50 Hertz parametrisiert und mithilfe der IO-Link-Schnittstelle zwischen SPS und Sensor ausgewertet.

Induktiver Näherungsschalter

Ein induktiver Näherungsschalter erzeugt mittels einer Spule mit Weicheisenkern und einem Schwingkreis ein Magnetfeld, das an der aktiven Fläche austritt. Befindet sich ein Objekt aus leitendem Material in diesem Magnetfeld, entstehen im Objekt Wirbelströme, die dem Sensor Energie entziehen. Dies führt zu einer Reduktion der Schwingungsamplitude des Schwingkreises. Die Größe der Schwingungsamplitude dient somit als Informationsparameter und zeigt an, ob sich ein leitfähiger Gegenstand im Magnetfeld befindet. ³⁶

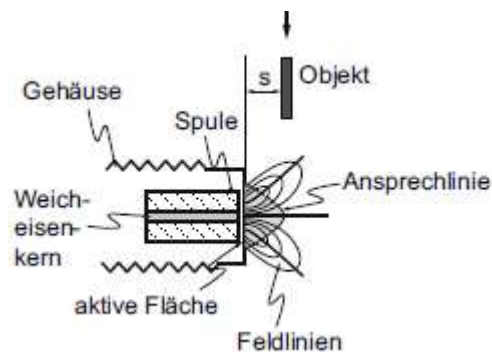


Abb. 20: Induktiver Näherungsschalter, Quelle: Vgl. Berthold Heinrich, Petra Linke, Michael Glöckler. ³⁷

Diese physikalische Eigenschaft wird für die Referenzpositionen des Lagenabschiebers ([Kapitel 5.1.3](#)) und die Schieber für die Lagenformung auf der Ladeplatte verwendet.

³⁵ Vgl. Fraunhofer IMS, Online-Quelle [04.11.2024]

³⁶ Vgl. Berthold Heinrich, Petra Linke, Michael Glöckler (2017), S. 60 ff.

³⁷ Vgl. Berthold Heinrich, Petra Linke, Michael Glöckler (2017 S. 62

5.2.4 IO-Link

IO-Link ist eine moderne Kommunikationsschnittstelle, die speziell für die Verbindung von Sensoren und Aktoren entwickelt wurde. Sie ermöglicht eine direkte Punkt-zu-Punkt-Kommunikation und bietet eine durchgängige Datenübertragung bis in die unterste Feldebene. Damit werden Sensoren und Aktoren effizienter genutzt, was die Produktivität von Maschinen und Anlagen deutlich steigert.

Im Vergleich zu herkömmlichen Schnittstellen, die nur Prozesswerte übertragen, bietet IO-Link Zugriff auf zusätzliche Daten wie Diagnosen, Prozessinformationen und gerätespezifische Parameter. Dies sorgt für mehr Transparenz und Flexibilität im Betrieb.

Ein IO-Link-System besteht aus mehreren zentralen Komponenten: dem IO-Link Master, der als Verbindung zwischen Automatisierungssystem und Geräten dient, den IO-Link Devices (z. B. Sensoren, Aktoren oder RFID-Readern), Standardleitungen für die Verbindung sowie Engineering-Tools für die einfache Konfiguration und Parametrierung.

Zu den wichtigsten Vorteilen von IO-Link zählen der offene Standard, der eine einfache Integration in verschiedene Automatisierungssysteme ermöglicht, sowie die vereinfachte Verdrahtung und reduzierte Vielfalt an Schnittstellen. Dank der zentralen Parametrierung und Diagnose können Inbetriebnahme, Wartung und Fehlerbehebung deutlich effizienter gestaltet werden. Dynamische Anpassungen von Geräteeinstellungen minimieren zudem Stillstandszeiten und ermöglichen flexible Produktionswechsel.

Technisch überzeugt IO-Link durch eine standardisierte Anschlusstechnik, flexible Datenübertragungsraten und verschiedene Portklassen (A und B), die auch Geräte mit höherem Strombedarf unterstützen. Die Kommunikation erfolgt über einfache, ungeschirmte Leitungen, was die Installation erleichtert. ³⁸

³⁸ Vgl. Siemens AG 2024, Online-Quelle [10.01.2025], S. 7 ff.

5.3 Steuerungskomponenten

Sämtliche Aktorik und Sensorik des Hochlagenpalettierers werden mithilfe einer SPS ausgewertet und gesteuert. Die nachfolgende Hardwaretopologie wird für einen Hochlagenpalettierer zur Untersuchung der automatischen Inbetriebnahme von Lagenmustern angewendet.

Hardware-Topologie

Die Hardwarekomponenten wurden auf das wesentlichste für den Prozess der Lagenformung vereinfacht.

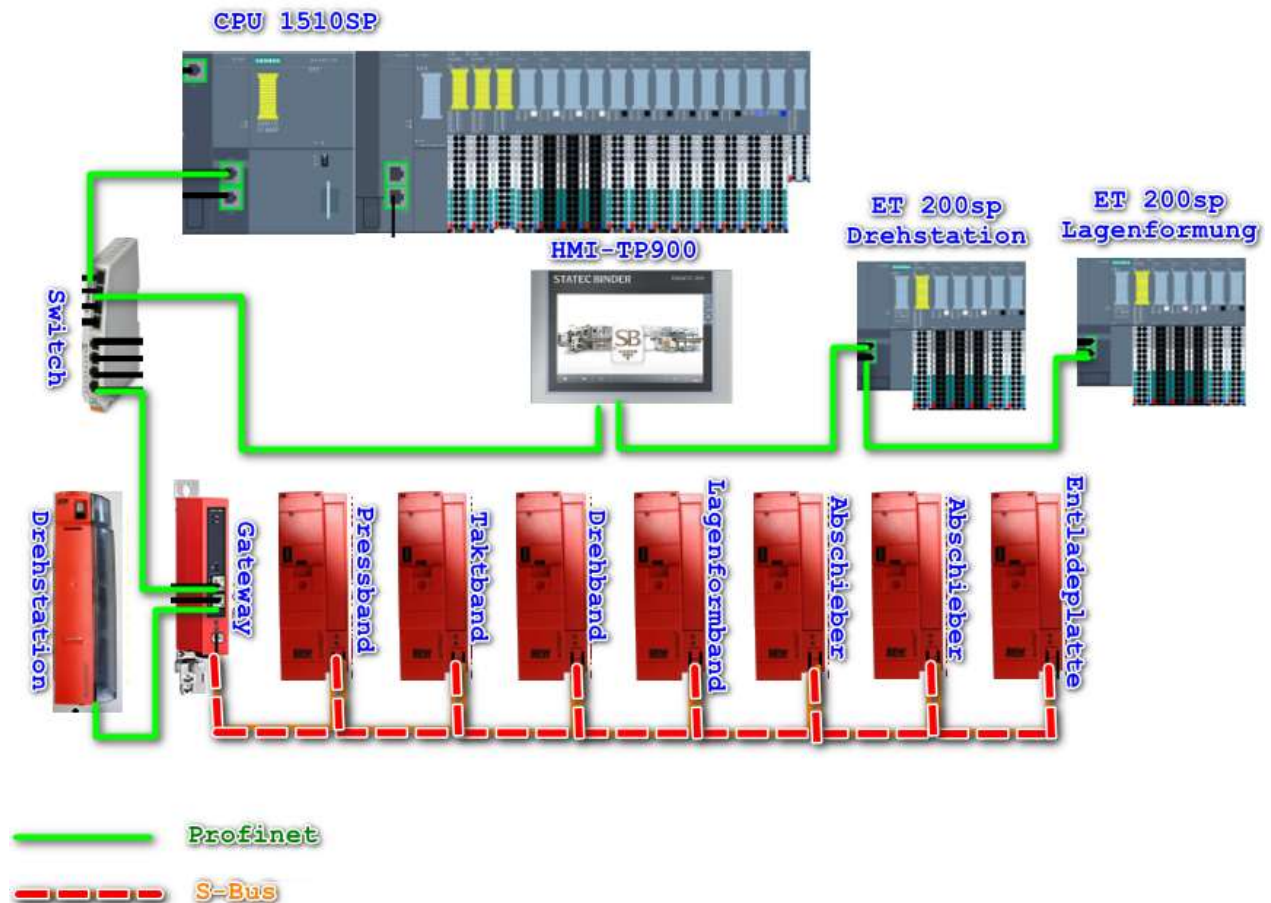


Abb. 21: Hardware-Topologie-Lagenformung, Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 21 werden die Hauptkomponenten für die relevanten Schnittstellen und Kommunikationsverfahren für die automatische Lagenformung dargestellt. Für die automatische Lagenbildung sind die Zykluszeiten zwischen den Kommunikationsteilnehmern und der Steuerungskomponente zu berücksichtigen. Die Kommunikation erfolgt über zwei unterschiedliche Protokollverfahren. Das gewählte Protokollverfahren in der Siemens-Umgebung ist Profinet, eine Weiterentwicklung des Profibus. Für die Ansteuerung der SEW-Frequenzumrichter, welche die Asynchronmotoren antreiben, wird S-Bus verwendet. Der Servo-Frequenzumrichter besitzt eine Schnittstelle für eine Profinet Kommunikation. Für die Eingabe und Ausgabe von Maschinenrelevanten Daten und Parametern wird eine HMI TP900 Comfort Panel der Firma Siemens verwendet.

S-Bus Kommunikation und Profinet Kommunikation

Der CAN-basierte Systembus wird bei SEW als S-Bus bezeichnet.

Der CANopen-Bus funktioniert in der Netzwerkverwaltung nach dem Master/Slave-Prinzip. Daher gibt es nur einen Netzwerkmaster im bestehenden Netzwerk; alle anderen Teilnehmer müssen eine Slave-Steuerung haben. Auch der Master muss eine Slave-Steuerung implementiert haben, um beim Starten des Systems ein Broadcast-Kommando zu erhalten.³⁹

Die S-Bus Kommunikation zwischen dem SEW-Gateway und einem Frequenzumrichter hat eine Zykluszeit von 2 Millisekunden für die Aktualisierung des Prozesswortes. Daher ergibt sich eine rechnerische Zykluszeit von 14 Millisekunden für die Frequenzumrichter.⁴⁰

Das PROFINET-System ist flexibel aufgebaut, sodass der Nutzer und die Nutzerin selbst entscheiden kann, welche Funktionen benötigt werden. Es gibt Unterschiede in der Art des Datenaustauschs, um den Anforderungen an Geschwindigkeit gerecht zu werden.⁴¹

Die Zykluszeit der Profinet Kommunikation hängt in Zusammenhang mit aktuellen Zykluszeit der CPU ab. Daher kann ein genauer Zeitwert nicht ermittelt werden.

Eine Einstellung der Kommunikationslast wurde von 50 Prozent auf 20 Prozent reduziert, um die Zykluszeit zu verkürzen.⁴²

Zykluszeit SPS

Die Zykluszeit der Siemens SPS gibt an, wie lange ein Zyklus benötigt, um das Eingangs- und Ausgangsabbild zu aktualisieren, die Programmtasks auszuführen und die Systemaktivitäten zu bearbeiten. An dieser Stelle sei erwähnt, dass zur Zykluszeit auch die Wartezeit auf das vorgegebene Minimum der Zykluszeit hinzugerechnet wird, falls diese größer ist als die Zeit zur Abarbeitung des Programms.⁴³

Die Zykluszeit ändert sich ständig aufgrund unterschiedlicher Programmlaufzeiten und dem Aufruf sogenannter Interrupts. Die Programmlaufzeit kann durch Programmschleifen, bedingte Befehle, Bausteinaufrufe und verschiedene Programmpfade verlängert oder verkürzt werden. Die Abarbeitung von Interrupts wird durch zeitgesteuerte Alarmbearbeitungen, ereignisgesteuerte Alarmbearbeitungen und die Kommunikation beeinflusst.⁴⁴

Als speicherprogrammierbare Steuerung wurde eine CPU 1510SP F-1 PN eingesetzt, die mit dem vorhandenen Palettiererprogramm eine Zykluszeit von mindestens 6 Millisekunden bis maximal 14 Millisekunden aufweist. Für die Eingabe und Ausgabe von maschinenrelevanten Daten und Parametern wird eine HMI TP900 Comfort Panel der Firma Siemens verwendet.

³⁹ Vgl. Gerhard Schnell, Bernhard Wiedemann Hrsg (2018), S. 235 ff.

⁴⁰ Vgl. SEW Eurodrive(2007), Online-Quelle [04.11.2024] S. 43 f.

⁴¹ Vgl. Gerhard Schnell, Bernhard Wiedemann Hrsg (2018), S. 282 ff.

⁴² Vgl. Siemens AG (2023), Online-Quelle [10.11.2024], S. 44 ff.

⁴³ Vgl. Siemens AG (2023), Online-Quelle [10.11.2024], S. 27 f.

⁴⁴ Vgl. Siemens AG (2023), Online-Quelle [10.11.2024], S. 28 f.

5.4 Funktion der Lagenformung

Nachdem nun alle relevanten mechanischen und elektrischen Komponenten für sich betrachtet wurden, werden in diesem Kapitel die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Subsystemen der Lagenformung aufgezeigt und automatische Ansätze für eine optimierte zeitliche Inbetriebnahme des Hochlagenpalettierers aufgezeigt.

5.4.1 Subsystem des Pressbandes und Taktbandes

Dieses Subsystem ist dafür verantwortlich, aneinander gereihete Säcke auseinander zu takten. Aneinander liegende Säcke können auftreten, sobald sich die Staustrecke beginnt, mit Säcken zu füllen.



Abb. 22: Sackstauband, Quelle: Eigene Darstellung

Die Grafik in Abbildung 22 zeigt eine vollständig gefüllte Staustrecke mit Vollsäcken, die nach dem Pressband wieder vereinzelt werden müssen. Die Vereinzlungssequenz hängt von der Sacklänge und der Bandgeschwindigkeit ab.



Abb. 23: Lichtschanke Sackvereinzlung, Quelle: Eigene Darstellung

Wenn die Lichtschranke, die in Abbildung 23 blau markiert ist, am Pressband während des Transports der Vollsäcke länger als eine zuvor empirisch ermittelte Zeit ausgelöst wird, muss das Pressband stoppen, bis das Taktband wieder frei ist. Ist das Taktband belegt, stoppt das Pressband sofort, ohne die Überwachungszeit abzuwarten.

Automatischer Ansatz zur Prozessimplementierung:

Eine automatische Bestimmung der Überwachungszeit kann durch eine grundlegende mathematische Wegberechnung dargestellt werden.

$$\ddot{U}_z = \frac{S_l}{B_v} \quad (5.3) \quad \ddot{U}_z/s \quad \text{Überwachungszeit}$$

B_v/ms^{-1} Bandgeschwindigkeit

S_l/m Sacklänge

Diese Sacklänge wird mit 650 Millimeter angenommen und die Bandgeschwindigkeit mit 40 Meter pro Minute. Daraus ergibt sich Anhand der Formel (5.3) eine Überwachungszeit von 0,975 Sekunden. Da die Säcke jedoch nicht immer im 90-Grad-Winkel auf die Lichtschranke treffen, kann der Überwachungszeitraum von Sack zu Sack leicht variieren. Daher ist es notwendig, einen Sicherheitsfaktor von 10 Prozent in der SPS zu implementieren ([siehe Kapitel 6.2](#)).

5.4.2 Subsystem der Drehstation

Diese Station hat die Aufgabe, die Säcke in der Drehstation mittig zu zentrieren und sie nach einer zuvor festgelegten Reihenfolge auszurichten.

Die Ausrichtung kann 0 Grad (Sackorientierung=Zuförderorientierung) plus 90 Grad (Sackorientierung=Sackkopf liegt in Richtung des Abschiebevorgangs), minus 90 Grad (Sackorientierung=Sackkopf liegt in Richtung entgegen des Abschiebevorgangs) und 180 Grad (Sackorientierung=entgegen der Zuförderorientierung) betragen.

Limitierende Faktoren sind dabei geometrischer Art durch die Sacklänge und die Sackbreite sowie durch die berechnete Zentrierzeit, welche unter anderem durch die Bandgeschwindigkeit limitiert ist. Da es keine negative Zeit geben kann, muss der Zentriersensor belegt werden, bevor ein Stoppsignal ausgelöst werden kann.

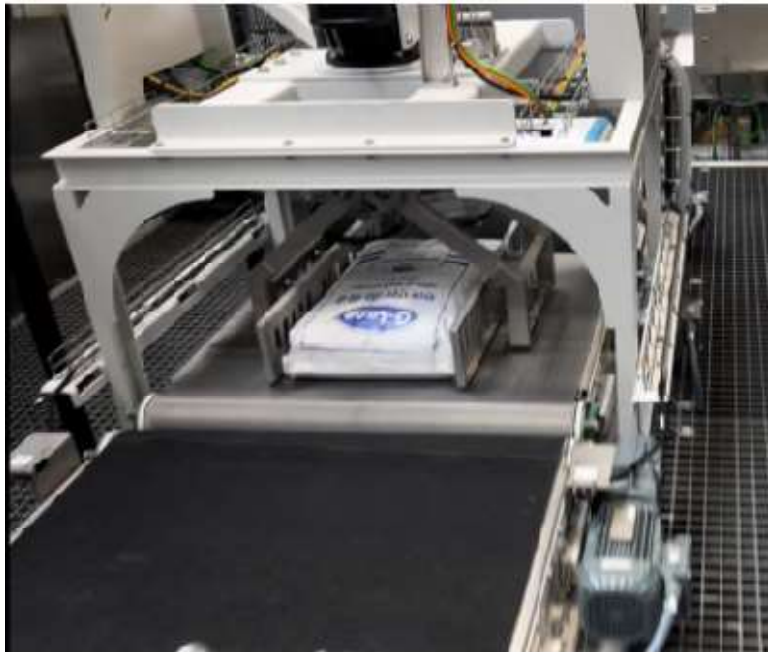


Abb. 24: Drehstation-Sackzentrierung, Quelle: Eigene Darstellung

In der grafischen Darstellung (Abbildung 24) ist erkennbar, dass die Klemmbreite mechanisch angepasst werden muss, wenn die Säcke schmaler oder breiter werden. Durch die pneumatische Klemmung lassen sich jedoch Sackbreitenunterschiede von etwa 50 Millimetern ohne mechanische Verstellung ausgleichen.

Für das Drehen von Schachteln und Boxen können keine unterschiedlichen Gebindebreiten ohne mechanische Verstellung bearbeitet werden, da diese Materialien beim Festhalten beschädigt werden könnten.

Das Limit der Sacklänge wird durch die Bandgeschwindigkeit und die mechanischen Abmessungen der Drehstation bestimmt.

Automatischer Ansatz zur Prozessimplementierung:

Die Sackzentrierzeit wird durch eine Verzögerungszeit zum Stoppen des Drehförderbandes dargestellt. Diese Verzögerungszeit wurde aktuell durch eine Methode von Versuch und Irrtum ermittelt. Die mathematische Grundlage basiert auf einer Rampenfunktion.

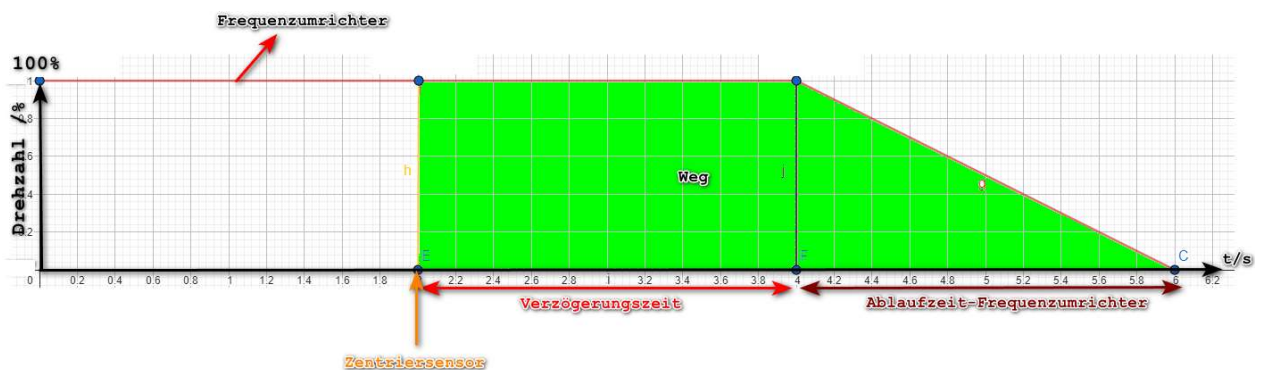


Abb. 25: Zentrierzeitberechnung, Quelle: Eigenen Darstellung

In Abbildung 25 wird der Weg als grüne Fläche dargestellt. Der benötigte Weg wird durch die halbe Sacklänge bestimmt. Da die SPS keine Rampensteuerung des Antriebsmotors integriert hat, wird lediglich ein Stoppbefehl an den Frequenzumrichter gesendet. Bis der Frequenzumrichter die Drehzahl von 0 Umdrehungen pro Minute erreicht, bewegt sich der Sack weiterhin auf dem Förderband. Daher ergeben sich zwei unabhängige Wegdistanzen. Einerseits der Weg bis zum Stoppbefehl und andererseits der Weg, bis der Frequenzumrichter die Drehzahl 0 erreicht hat. Aufgrund dessen muss der gesamtzurückgelegte Wege eine halbe Sacklänge betragen. Um einen möglichst hohen Durchsatz auf der Förderstrecke zu erzielen, wird weder die Drehzahl noch die Rampe verändert, sondern die Zeit bis zum Abschaltpunkt.

Die Ablaufzeit des Frequenzumrichters bezieht sich bei den SEW-Frequenzumrichtern (Abbildung 22) auf eine Bezugsdrehzahl. Zur Berechnung der Verzögerungszeit muss daher die aktuelle Motorgeschwindigkeit berücksichtigt werden. Die übertragene Rampe zum Frequenzumrichter muss entsprechend neu berechnet werden, um die Wegstrecke zu bestimmen.

$$R_u = \pi R_d \quad (5.4) \quad R_u/m \quad \text{Antriebsrollenumfang des Bandes}$$

R_d/m Durchmesser der Antriebsrolle, des Bandes

$$V_{FUV} = \ddot{u} \frac{B_v}{R_u} \quad (5.5) \quad V_{FUV}/ms^{-1} \text{Motordrehgeschwindigkeit des Frequenzumrichters}$$

$\ddot{u}/1$ Übersetzung des Motorgetriebes

B_v/ms^{-1} Bandgeschwindigkeit

$$t_{FUa} = \frac{t_{\ddot{u}a}}{B_z} V_{Uv} \quad (5.6) \quad t_{FUa}/s \quad \text{Rampenzeit des Frequenzumrichters für die Bremsbeschleunigen}$$

$t_{\ddot{u}a}/s$ Ablauf-Rampenzeit, von SPS an Frequenzumrichter übertragen

B_z/ms^{-1} Bezugsdrehzahl des Frequenzumrichters

Zur Berechnung der Verzögerungszeit, auch Zentrierzeit genannt, wird eine Bandgeschwindigkeit (B_v) von 40 Metern pro Minute angenommen. Zusätzlich wird eine Übertragungsrampenzeit ($t_{\ddot{u}a}$) von 500 Millisekunden berücksichtigt, die von der SPS an den Frequenzumrichter gesendet wird.

Der Umfang der Antriebstrommel (R_u) für die Berechnung der nötigen Motorgeschwindigkeit ergibt sich aus der Formel 5.4.

Die übertragene Ablaufzeit wird mithilfe der Berechnung (5.6) in eine Frequenzumrichterzeit (auch Ablaufzeit-Frequenzumrichter, (t_{FUa}) genannt) umgerechnet. Der Motor hat eine Übersetzung von 14.1 und der Rollendurchmesser (R_d) des Förderbandes beträgt 135 Millimeter. Daher ergibt sich eine nötige Motorgeschwindigkeit (V_{UV}) von 22,164 Umdrehungen pro Sekunde. Dies wird mithilfe der Formel (5.5) berechnet.

Da der Frequenzumrichter der Firma SEW eine interne Bezugsdrehzahl (B_z) von 50 Umdrehungen pro Sekunde hinterlegt hat, ergibt sich eine proportionale Abhängigkeit zwischen der übertragenen Rampenzeit ($t_{\ddot{u}}$) und der zu erreichenden Motordrehzahl (V_{UV}).

Das Ergebnis der Ablaufzeit des Frequenzumrichter (t_{FUa}) beträgt 0,222 Sekunden.

Durch die Brechung der Ablaufzeit kann nun die Verzögerungszeit für den Stoppbefehl des Drehbandes errechnet werden.

$$a_b = \frac{B_v}{t_{FUa}} \quad (5.7) \quad a_b/\text{ms}^{-2} \quad \text{Bremsbeschleunigung des Förderbandes}$$

Mithilfe der Bandgeschwindigkeit (B_v) und der berechneten Rampenzeit des Frequenzumrichters (t_{FUa}) ergibt sich die Bremsbeschleunigung (B_a) des Förderbandes. Diese Bremsbeschleunigung wird für die Berechnung des Ablaufweges benötigt.

$$s_a = a_b * F_{Uta}^2 \quad (5.8) \quad s_a/\text{m} \quad \text{Zurückgelegter Weg der Ablauframpe (Ablaufweg)}$$

$$t_{vz} = \frac{\frac{s_l}{2} - s_a}{B_v} \quad (5.9) \quad t_{vz}/\text{s} \quad \text{Zentrierzeit-Verzögerungszeit für das Stoppen}$$

Die Zentrierzeit (t_{vz}) ergibt sich aus der Differenz der halben Sacklänge und dem Ablaufweg durch die Bandgeschwindigkeit. Die zuvor fest gelegten Größen ergeben eine Verzögerungszeit von 266 Millisekunden für eine Bandgeschwindigkeit von 40 Meter pro Minute.

Die zyklischen Verzögerungszeiten innerhalb der SPS und der Kommunikationsbusse werden in dieser Berechnung nicht berücksichtigt. Auch die Positionsverschiebung zwischen Mitte-Drehstation und Sensorposition wird nicht berücksichtigt.



Abb. 26: Sensorposition-Drehstation, Quelle: Eigene Darstellung

Die Sensorposition, welche durch einen roten Punkt dargestellt wird in der Abbildung 26, des Zentriersensors ist mechanisch nicht mittig gegenüber der Drehstation ausgerichtet. Daher muss für die Zentrierzeitberechnung ein Offset berücksichtigt werden, um den Sack mittig in der Klemmung zu positionieren.

Eine weitere Schlüsselkomponente für die automatische Inbetriebnahme ist die Klemmung der Vollsäcke. Dabei muss die Klemmenbreite im geschlossenen Zustand kleiner sein als die Sackbreite, um den Sack sicher festhalten zu können. Eine Pressung des Sackes um 2 Zentimeter genügt, um den Sack sicher festhalten zu können.



Abb. 27: Klemmbreitenverstellung, Quelle: Eigene Darstellung

Die Klemmung der Vollsäcke wird durch eine mechanische Konstruktion (Abbildung 27) manuell verstellt, jedoch ist diese konsekutive Lösung nur bei langsamen Drehgeschwindigkeiten und im unteren Leistungsbereich des Hochlagenpalettierers eingesetzt. Eine motorische Lösung könnte die Klemmenbreite automatisch verstellen.

5.4.3 Subsystem der Übergang Drehstation auf Lagenformband

Die bereits richtig orientierten Säcke werden von der Drehstation ausgefördert und auf das Lagenformband übergeben. Durch ein verzögertes Starten des Lagenformbandes und einer definierten Laufzeit werden die Säcke auf dem Lagenformband aufgestaut.

Die Verzögerungszeit des Lagenformbandes und die Laufzeit des Lagenformbandes ergeben einen Teil des Palettenmusters. Diese Zeiten werden aktuell während der Inbetriebnahme mithilfe der Methode von Versuch und Irrtum eingestellt. Die Zeiten müssen für jeden einzelnen Sack bestimmt werden, um die spezifische Position für den Lagenabschub zu erhalten.

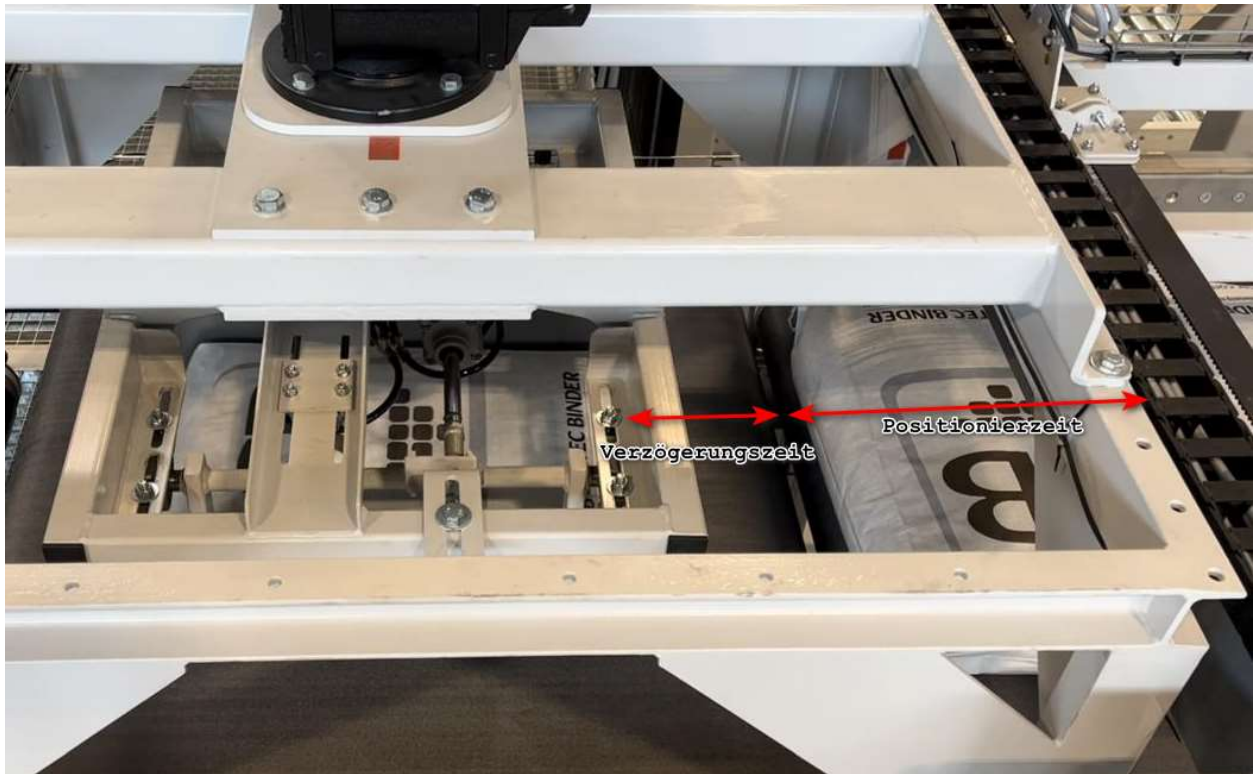


Abb. 28: Übergang Drehband-Lagenformband, Quelle Eigene Darstellung

Für die Inbetriebnahme müssen die Verzögerungszeit für das Starten des Lagenformbandes und die Positionierzeit, die gleichzeitig die Laufzeit des Lagenformbandes ist, ermittelt werden. (Abbildung 28) Der Förderweg des Sacks wird über die Rampeneinstellung, Bandgeschwindigkeit, Sacklänge, Sackbreite und Rutschigenschaften bestimmt. Verändert sich einer dieser Parameter so müssen diese Zeiten neu angepasst werden.

Automatischer Ansatz zur Prozessimplementierung für Säcke ohne Zwischenabstände:

Auch können die Transportwege mithilfe von mathematischen Formeln zu einem gewissen Teil bestimmt werden. Das zusammenstauchen der Säcke kann mit dieser nachfolgenden Grafik nicht verhindert werden. Da die Startrampe bei einem Frequenzumrichter nicht Null sein kann. Die kleinstmögliche Anstiegszeit für die Rampe des verwendeten Frequenzumrichter beträgt 0,1 Sekunden.

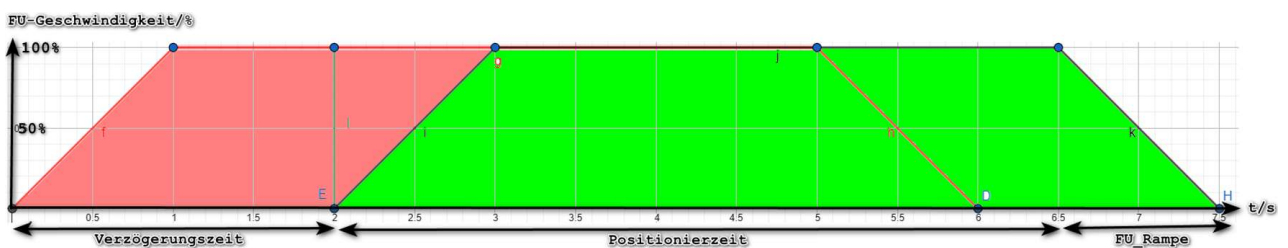


Abb. 29: Verzögerungszeit und Positionierzeit, Quelle: Eigene Darstellung

Die rot markierte Fläche (Abbildung 29) zeigt den Weg des Sackes von der Drehstation bis zum Anfang des Drehbandes. Dieser mechanisch vorgegebene Weg wird in eine Verzögerungszeit umgerechnet, um das Lagenformband verzögert starten zu lassen. Die grün dargestellte Fläche repräsentiert den Weg auf

dem Lagenformband, der durch die Positionierzeit und den Weg der Ablauframpe bestimmt wird. Die Positionierzeit entspricht der Einschaltzeit des Lagenformbandes.

Anhand der grafischen Darstellung ergeben sich nun folgende Gleichung zum Errechnen der Verzögerungszeit und Positionierzeit.

$$t_{FUtst} = \frac{t_{\dot{U}s}}{B_z} F_{Uv} \quad (5.10) \quad t_{FUtst}/s \quad \text{Rampenzeit des Frequenzumrichters für die Startbeschleunigen}$$

$$t_{\dot{U}s}/s \quad \text{Start-Rampenzeit, von SPS an Frequenzumrichter übertragen}$$

$$S_{Tsg} = A_{dl} - \frac{S_l}{2} \quad (5.11) \quad S_{Tsg}/m \quad \text{Transportlänge, geradem Sack und Anfang Lagenformband}$$

$$A_{dl}/m \quad \text{Abstand, Mitte-Drehstation bis Anfang-Lagenformbandes}$$

Mithilfe dieser Gleichung wird der Weg zwischen dem Zentrierten Sack mit einer Rotation von 0 Grad oder 180 Grad und dem Anfang des Lagenformbandes berechnet. Wird der Sack jedoch um 90 Grad gedreht so ergibt sich die Gleichung.

$$S_{Ts90} = A_{dl} - \frac{S_b}{2} \quad (5.12) \quad S_{Ts90}/m \quad \text{Transportlänge, 90 Grad Sack und Anfang}$$

$$\text{Lagenformband}$$

$$S_b/m \quad \text{Sackbreite}$$

$$a_{bst} = \frac{B_v}{F_{Ust}} \quad (5.13) \quad a_{bst}/ms^{-2} \quad \text{Starbeschleunigung des Frequenzumrichters}$$

$$s_{st} = a_{bst} * t_{FUtst}^2 \quad (5.14) \quad S_{st}/m \quad \text{Zurückgelegter Weg der Hochlauframpe (Hochlaufweg)}$$

$$t_{vtlg} = \frac{S_{Tsg} - s_a - s_{st}}{B_v} + t_{FUtst} \quad (5.15) \quad t_{vtlg}/s \quad \text{Verzögerungszeit für das Starten des Lagenformbandes}$$

$$\text{(gerader Sack)}$$

Zur Berechnung der Verzögerungszeit (5.15) muss die Rampenzeit für die Startbeschleunigung hinzugefügt werden, da der Weg der Startbeschleunigung nicht in der SPS berücksichtigt wird.

$$t_{vtl90} = \frac{S_{Ts90} - s_a - s_{st}}{B_v} + t_{FUtst} \quad (5.16) \quad t_{vtl90}/s \quad \text{Verzögerungszeit für das Starten Lagenformbandes}$$

$$\text{(90 Grad Sackdrehung)}$$

$$t_{ptlg} = \frac{\frac{S_l - s_a}{2}}{B_v} + t_{FUtst} \quad (5.17) \quad t_{ptlg}/s \quad \text{Positionierzeit für das Lagenformbandes (gerader Sack)}$$

$$t_{ptl90} = \frac{\frac{S_b - s_a}{2}}{B_v} + t_{FUtst} \quad (5.18) \quad t_{ptl90}/s \quad \text{Positionierzeit für das Lagenformbandes (90 Grad Sackdrehung)}$$

Die Berechnung der Positionierzeit erfolgt über die halbe Sacklänge oder Sackbreite. Davon wird noch der Ablaufweg abgezogen und durch die Bandgeschwindigkeit dividiert, um anschließend die Rampenzeit für die Startbeschleunigung hinzuzufügen.

Mit diesem mathematischen Berechnungsweg bleiben die Säcke am Anfang des Lagenformbands stehen. (siehe Abbildung 28)

Automatischer Ansatz zur Prozessimplementierung für Säcke mit Zwischenabständen:

Bei manchen Lagenmustern ist es notwendig, zwischen den Säcken einen Abstand auf dem Lagenformband zu schaffen, um den Lagenabschub zu ermöglichen. Um diesen Abstand zu erzeugen, muss das Lagenformband früher starten, bevor der nächste Sack auf das Lagenformband transportiert wird.

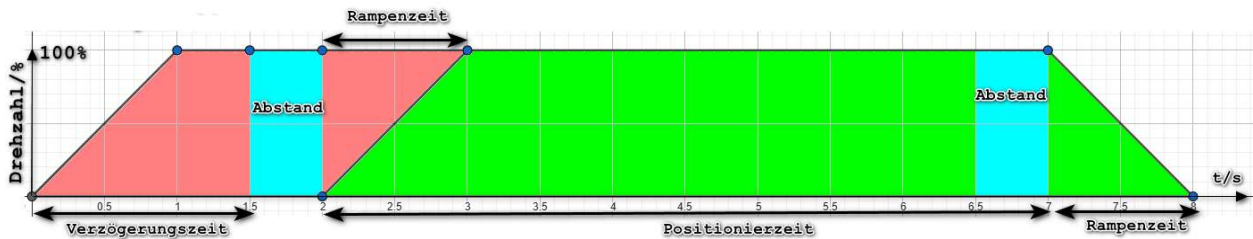


Abb. 30: Verzögerungszeit-Positionierzeit-Abstand, Quelle, Eigene Darstellung

Aus der Abbildung 30 wird ersichtlich, dass die Verzögerungszeit für das Starten des Lagenformbandes kürzer wird. Der Sack muss jedoch vollständig auf das Lagenformband positioniert werden, daher muss der Abstand in die Positionierzeit eingerechnet werden.

$$t_{vtl90A} = \frac{S_{Ts90} - A - s_a - s_{st}}{B_v} + t_{FUtst} \quad (5.19) \quad t_{vtl90A}/s \quad \text{Verzögerungszeit für das Starten des Lagenformbandes (90 Grad Sackdrehung) mit Abstand}$$

A/m Abstand zwischen Säcken

$$t_{vtlg} = \frac{S_{Tsg} - A - s_a - s_{st}}{B_v} + t_{FUtst} \quad (5.20) \quad t_{vtlg}/s \quad \text{Verzögerungszeit für das Starten des Lagenformbandes (gerader Sack) mit Abstand}$$

Der Abstand muss nun bei der Transportlänge addiert werden, um denselben Weg zu erhalten.

$$t_{ptl90A} = \frac{\frac{s_b - s_a + A}{2}}{B_v} + F_{Utst} \quad (5.21) \quad t_{ptl90A}/s \quad \text{Positionierzeit für das Lagenformbandes (90 Grad Sackdrehung) mit Abstand}$$

$$t_{ptlgA} = \frac{\frac{s_l - s_a + A}{2}}{B_v} + F_{Utst} \quad (5.22) \quad t_{ptlgA}/s \quad \text{Positionierzeit für das Lagenformbandes (gerader Sack) mit Abstand}$$

Automatischer Ansatz zur Prozessimplementierung für Säcke mit Zwischenabstände und letzter Sack vor Lagenabschiebung:

Der letzte Sack einer halben Lagenformung muss auf dem Lagenförderband so positioniert werden, dass die halbe Lage mit dem Abschieber transportiert werden kann.

Der Abstand zwischen der Mitte der Vollpaletten und dem Anfang des Lagenförderbandes ist von der Länge des Lagenförderbandes abhängig. Um die halbe Lage abschieben zu können, muss der letzte Sack mit einer extra Positionierzeit für das Lagenförderband berechnet werden.



Abb. 31: Letzter Sack der Lagenformung, Quelle: Eigene Darstellung

Bei der herkömmlichen Ausführung der Inbetriebnahme muss die zusätzliche Zeit für den letzten Sack auf dem Lagenformband durch eine Versuchsreihe ermittelt werden. Die Extra-Positionierzeit wird in der Abbildung 31 in roter Schrift dargestellt und repräsentiert einen Förderweg von Anfang Lagenformband bis zur Stopp-Position des letzten Sackes.

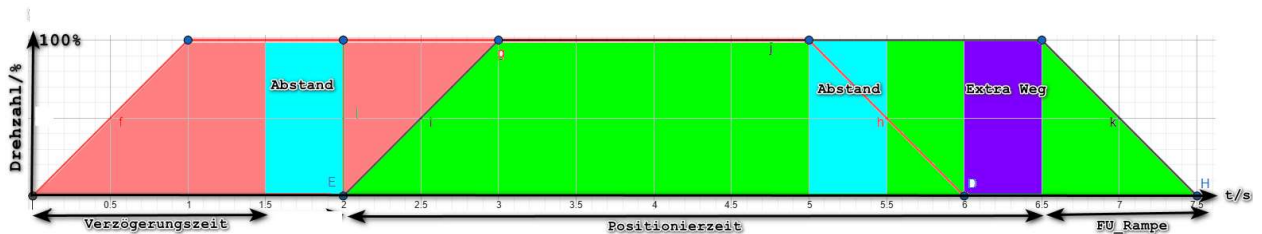


Abb. 32: Extra Positionierzeit für letzter Sack, Quelle Eigene Darstellung

Die Berechnung der Position des letzten Sackes muss mit einem extra Weg (Abbildung 32) berücksichtigt werden. Daher ergibt sich durch das Subtrahieren des Abstands von der Mitte des Lagenabschiebers bis zum Anfang des Lagenförderbandes und der Position des letzten Sackes (Extra Weg).

$$P_{tlgAL} = \frac{s_l - s_a + A + Z}{B_v} + F_{Ufst} \quad (5.23) \quad P_{tlgAL}/s \text{ Positionierzeit für des letzten Sackes bevor}$$

Abschub auf Lagenformband (gerader Sack) mit Abstand

Z/m extra Weg

$$P_{tl90AL} = \frac{s_b - s_a + A + Z}{2} + F_{U_{tst}} \quad (5.24) \quad P_{tl90AL}/s \text{ Positionierzeit für des letzten Sackes bevor}$$

Abschub auf Lagenformband (90 Grad Sackdrehung)
mit Abstand

5.5 Subsystem der Lagenabschieber

Der Lagenabschieber arbeitet mit den Vollsäcken in drei Positionen. Die erste befindet sich an der Abholposition des Lagenformbandes, die zweite am Übergabebalkon und die dritte an der Entladeplatte. Auf dem Übergabebalkon können halbe Lagen zwischengelagert werden, um die Leistungskapazität des Palettierers zu erhöhen.

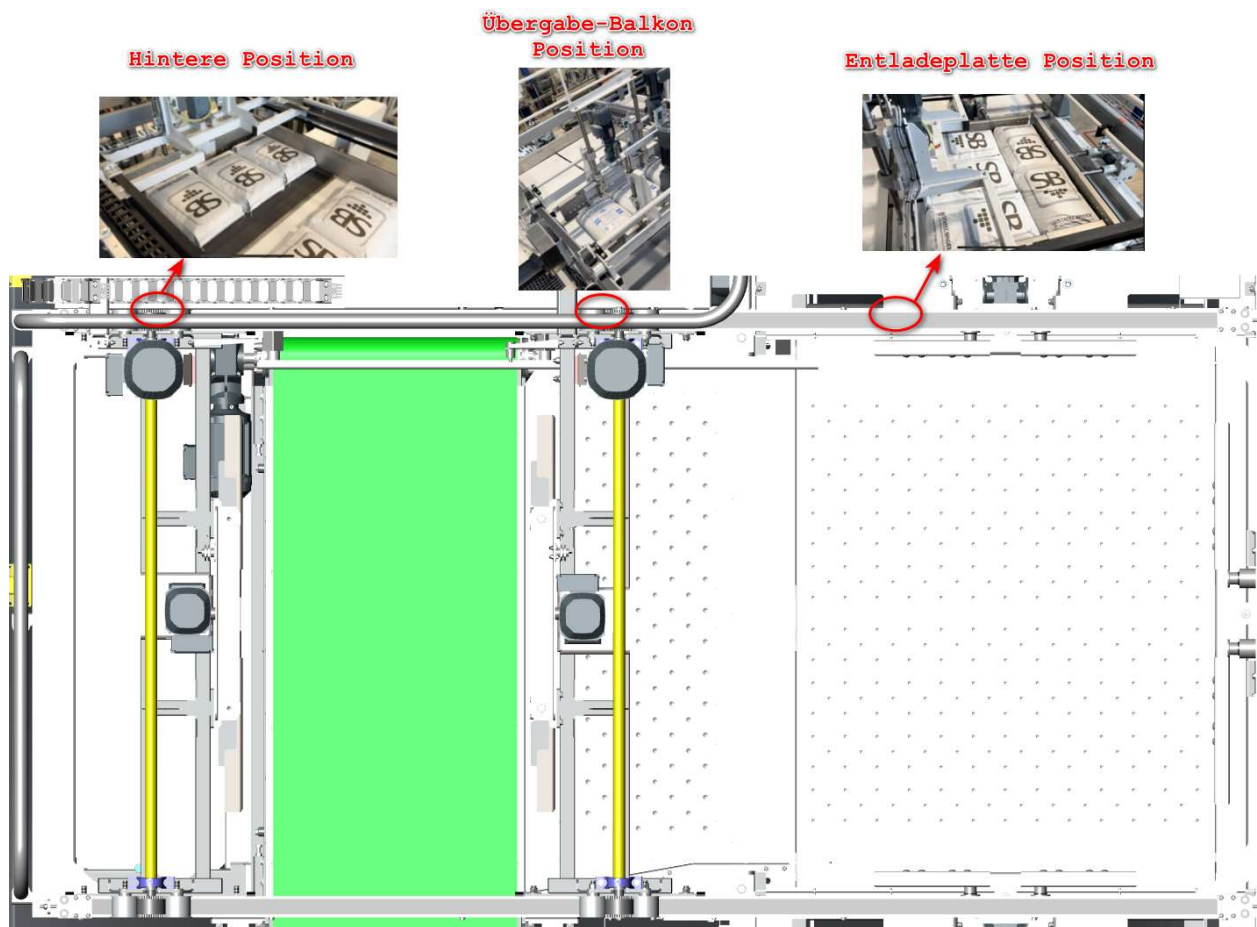


Abb. 33: Lagenabschieber Positionen, Quelle: Eigene Darstellung

Die Lagenabschieber führen eine Positionsfahrt zu den festgelegten Positionen durch, wodurch der erforderliche Wert präzise angefahren werden kann. Die Entladeposition hängt vom Lagenmuster und den Sackdimensionen ab. Das Zusammenfahren der seitlichen und hinteren Schieber dient dazu, die Säcke auf der Entladeplatte gleichmäßig auszurichten. Die Positionen dieser Schieber auf der Entladeplatte müssen während der Inbetriebnahme getestet werden. Die Nullposition befindet sich in der „Hinteren Position“ des Abschiebers und wird durch einen induktiven Näherungsschalter erfasst. Beim Zurückfahren in die hintere Position wird der Lagenabschieber angehoben, um bereits gestaute Säcke auf dem Lagenformband oder auf dem Übergabebalkon nicht zu berühren.

Automatischer Ansatz zur Prozessimplementierung für die Abschieber:

Die Abschieber-Positionen können durch eine mathematische Bestimmung visualisiert werden.

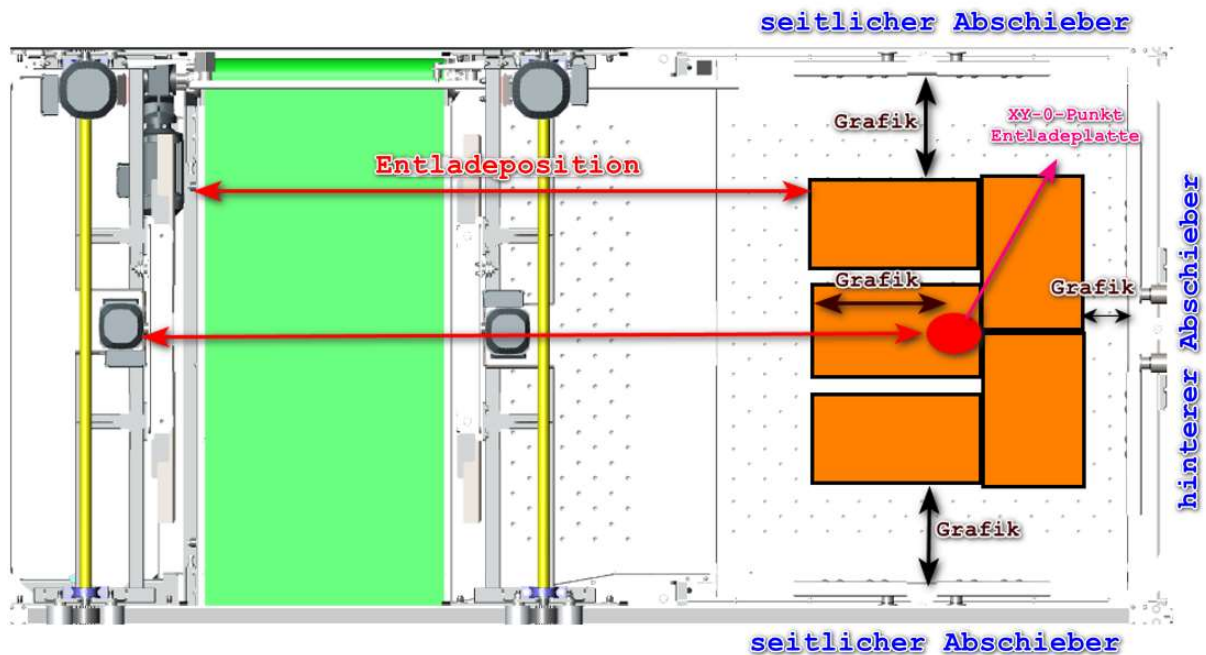


Abb. 34: Lagenabschieber Grafisch, Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 34 ist erkennbar, dass alle Positionen des Lagenabschiebers dargestellt sind, mit Ausnahme der Abstände, die mit dem Wort "Grafik" gekennzeichnet sind. Diese Abstände sind vom Lagenmuster und den Sackdimensionen abhängig. Durch eine grafische Visualisierung ist es möglich, die Abstände und Positionen des Lagenabschiebers und der Schieber zu bestimmen. In der folgenden Grafik ist die grafische Implementierung einer Lage im Siemens HMI TP900 zu sehen.

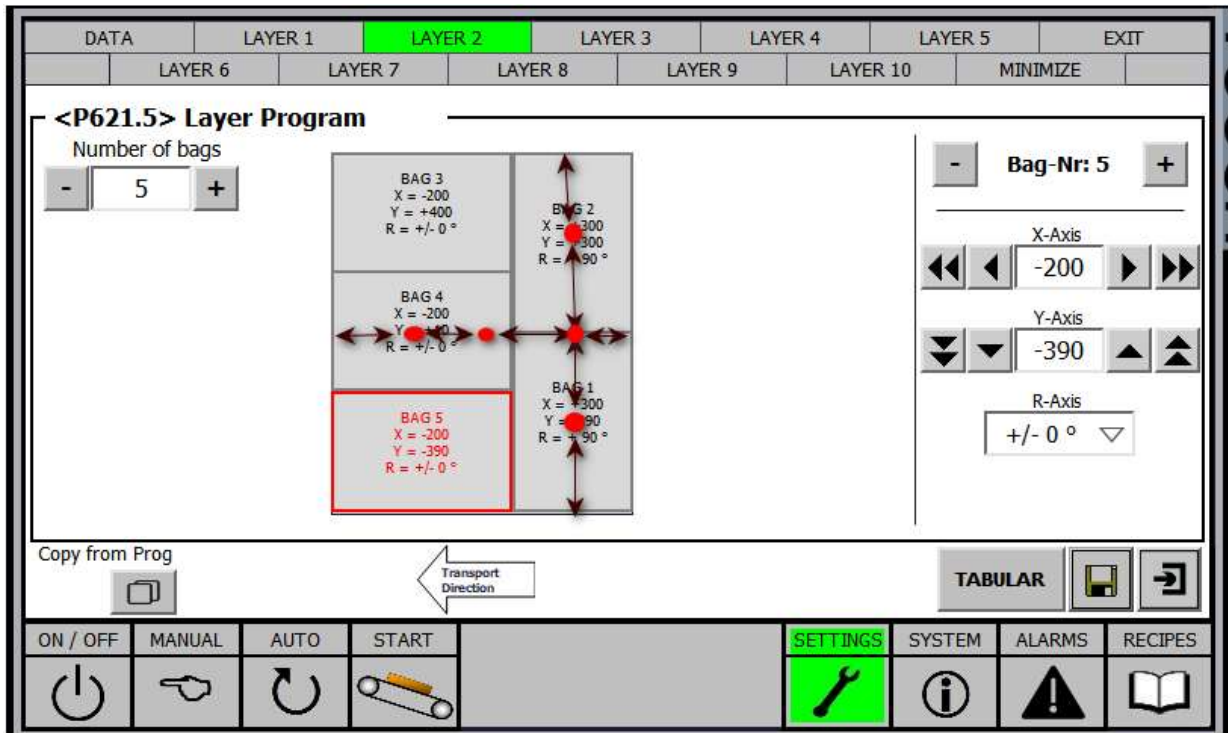


Abb. 35: Grafik Vollpalette HMI, Quelle: Eigene Darstellung

Die grafische Darstellung der Lage liefert als Rückgabewert den Mittelpunkt des Sacks in X- und Y-Koordinaten, ausgehend vom Mittelpunkt der Grafik. Dadurch lassen sich die Außenmaße des Lagenmusters bestimmen, die für die Schieberpositionen benötigt werden. Die Berechnung für die Entladeposition ergibt sich nun wie folgt.

$$EP_{AG} = A_{mp} - \left(\frac{S_i}{2} + A_{smx}\right) \quad (5.25) \quad EP_{A/m} \text{ Entladeposition für Lagenabschieber gerader Sack}$$

A_{mp}/m Abstand zwischen Referenzpositionen (Hinter Position) und der Mitte der Entladeplatte

A_{smx}/m Abstand zwischen Mitte der Entladeplatte und Mittelpunkt des dargestellten Sackes in X-Richtung

$$EP_{A90} = A_{mp} - \left(\frac{S_b}{2} + A_{smx}\right) \quad (5.26) \quad EP_{A90/m} \text{ Entladeposition für Lagenabschieber 90 Grad Sack}$$

Durch eine Abfrage in der SPS kann ermittelt werden, ob sich ein gerader Sack oder ein um 90 Grad gedrehter Sack am weitesten in Richtung des Lagenabschiebers befindet. Diese Abfrage kann mithilfe der X-Koordinate bestimmt werden. Anhand von Abbildung 35 sollte die Formel 5.25 verwendet werden.

Auch die Positionen für die seitlichen und den hinteren Schieber können auf diese Weise mathematisch bestimmt werden. Da die seitlichen Schieber synchron arbeiten, reicht es aus, nur eine Stopposition für diese Schieber zu berechnen. Dabei wird die Y-Koordinate des Sackes verwendet. Der hintere Schieber hingegen muss anhand der X-Koordinate berechnet werden.

5.6 Subsystem der Ladeplatte und Hubtisch

Unter der Ladeplatte befindet sich ein Hubtisch, der die Palette transportiert. Dieser Hubtisch wird nach dem Öffnen der Ladeplatte abgesenkt und unter der Entladeplatte positioniert.



Abb. 36: Kreuzlichtschranke-Hubtisch, Quelle: Eigene Darstellung

Um die Palette mittig auf dem Hubtisch zu zentrieren, wird eine Palettentzrierzeit eingesetzt, die als Einschaltverzögerungszeit für das Stoppen des Motors integriert ist. Diese Zentrierzeit muss für jeden Palettentyp angepasst werden und ist zudem abhängig von der Transportgeschwindigkeit. Der Antrieb eines Rollerförderers ist ein Frequenzumrichter mit einem Asynchronmotor.

Die Kreuzlichtschranke positioniert den Hubtisch immer auf dieselbe Höhe. Dadurch bleibt der Abstand zwischen der Entladeplatte und dem Hubtisch, sowie den Vollsäcken immer nahezu konstant. Aufgrund dessen kann die Lagenanzahl erhöht werden, bis es aus mechanischen Gegebenheiten nicht mehr möglich ist, die Vollpalette zu transportieren. Auch die Leistung des Hubtischmotors begrenzt die Lagenanzahl. Eine Lagenpressoption ermöglicht es, die Säcke gegen die Ladeplatte zu pressen, um eine möglichst ebene Fläche der palettierten Säcke zu erhalten.

Automatischer Ansatz der Prozessimplementierung für die Palettentzrierzeit

Die zuvor beschriebene Palettentzrierzeit wird in der aktuellen Arbeitsweise durch ein Testverfahren ermittelt. Daher muss für jeden Palettentyp eine eigene Palettentzrierzeit bestimmt werden. Um dieses Verfahren automatisieren zu können, kann man sich auf den automatischen Ansatz der Sackzentrierung ([Kapitel 5.4.2](#)) bedienen.

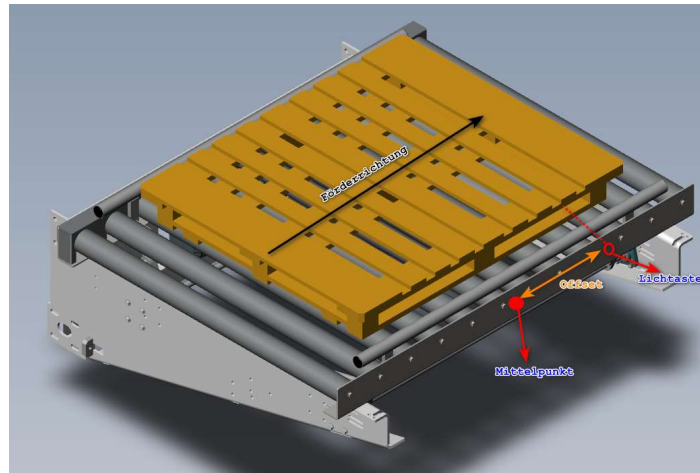


Abb. 37: Palettenzentrierzeit, Quelle Eigene Darstellung

Da sich der Sensor auf dem Rollenförderer nicht im Zentrum des Rollenförderers befindet muss ein Offset zur Wegstrecke abgezogen werden. Durch die Umformulierung der Parameter ergeben sich nun folgende Gleichungen.

$$RF_u = \pi RF_d \quad (5.27) \quad RF_u/m \quad \text{Rollenumfang einer Antriebsrolle}$$

RF_d/m Durchmesser einer Antriebsrolle, des Rollenförderers

$$VRF_{Uv} = \ddot{u}r \frac{T_v}{FR_u} \quad (5.28) \quad VRF_{Uv}/ms^{-1} \text{Motordrehgeschwindigkeit des Frequenzumrichters}$$

$\ddot{u}r$ Übersetzung des Motorgetriebes des Rollenförderers

T_v/ms^{-1} Transportgeschwindigkeit des Rollenförderers

$$t_{RFUta} = \frac{Rt_{\ddot{u}a}}{B_z} VRF_{Uv} \quad (5.29) \quad t_{RFUta}/s \quad \text{Rampenzeit des Frequenzumrichters für die Bremsbeschleunigen}$$

$Rt_{\ddot{u}a}/s$ Ablauf-Rampenzeit, von SPS an Frequenzumrichter übertragen

$$a_{RB} = \frac{T_v}{t_{RFUta}} \quad (5.30) \quad a_{RB} /ms^{-2} \quad \text{Bremsbeschleunigung des Rollenförderers}$$

$$Rs_a = a_{RB} * VRF_{Uv}^2 \quad (5.31) \quad Rs_a /m \quad \text{Zurückgelegter Weg der Ablauframpe (Ablaufweg)}$$

$$t_{rvz} = \frac{\frac{P_l}{2} - Rs_a - AZS}{T_v} \quad (5.32) \quad t_{rvz}/s \quad \text{Zentrierzeit-Verzögerungszeit für das Stoppen}$$

P_l/m Palettenlänge

AZS/m Offset, Abstand zwischen der Mitte des Rollenförderers und der Position des Sensors

Durch den Einsatz dieser Rechenmethode lässt sich automatisch berechnen, wann der Stoppbefehl für den Rollenförderer an den Frequenzumrichter gesendet werden soll.

6 PRGRAMM IMPLEMENTIERUNG AM VERSUCHSAUFBAU

Im folgenden Kapitel wird die Programmimplementierung in ein bereits bestehendes Programm der Firma Statec-Binder beschrieben. Die Programmiersoftware Tia-Portal wird für diese Anwendung verwendet. Dabei handelt es sich um ein Produkt der Firma Siemens.

Für die unterschiedlichen Positionsberechnungen werden einzelnen Funktionen angelegt, welche Daten aus Übergeordneten Datenbausteinen auslesen und diese wiederum in einen Datenbaustein schreiben.

Die zuvor ausgearbeitete Konzeptlösungen werden nun in die SPS-Steuerung implementiert.

6.1 Versuchsaufbau

Zur Testung der automatischen Lagenformung wurden zwei Förderbänder mit einem Antirutschgurt zusammengestellt, um die Funktionalität der automatischen Lagenformung zu prüfen, ohne die Rutschfaktoren zu berücksichtigen.

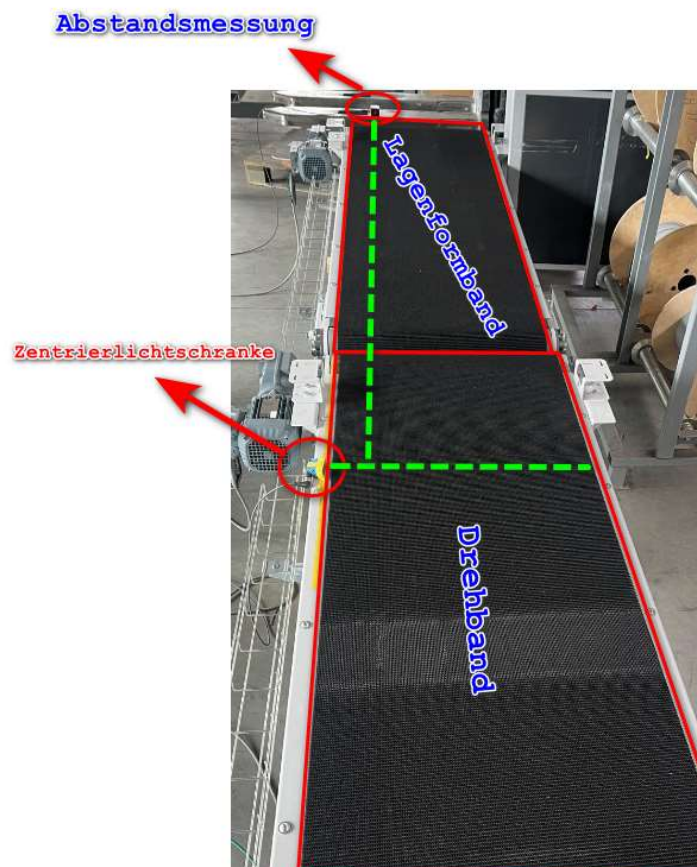


Abb. 38: Versuchsaufbau Lagenformband, Quelle: Eigene Darstellung

Der Versuchsaufbau wurde mit den gleichen mechanischen Abständen zwischen den Förderern sowie den Abständen zwischen dem Drehbandende und der Zentrierlichtschranke montiert, wie sie im Hochlagenpalettierer vorkommen. Da die beiden Förderbänder mit Antirutschgurten ausgestattet sind, konnte in der ersten Testphase das Rutschen der Säcke bis zu einer Geschwindigkeit von 60 Metern pro Minute vernachlässigt werden.

Der Rutschversuchsstand besitzt einen Fördergurt, der aus einer polyurethanimprägnierten Oberfläche besteht und Rutscheigenschaften gegenüber Säcken aufweist. Der Abstandssensor wird zur schnellen Auswertung der Daten über eine IO-Link-Schnittstelle in das Programm implementiert. Mithilfe des Lichttasters kann das Rutschverhalten zur Bestimmung des Abschaltzeitpunkts des Motors erfasst werden.



Abb. 39: Rutschversuchsstand, Quelle: Eigene Darstellung

Der Rutschversuchsstand besitzt die gleiche Materialzusammensetzung der Gurtoberfläche wie das Drehband und das Lagenformband.

6.2 Überwachungszeit für Sackvereinzelung

Die Überwachungszeit der Sackvereinzelung wird durch eine Funktion bestimmt, die Daten aus einem Datenbaustein liest und die notwendigen Parameter herauszieht. Diese werden zunächst in SI-Basiseinheiten umgerechnet, um sie anschließend für die Berechnung verwenden zu können. Die Bandgeschwindigkeit wird von Metern pro Minute in Meter pro Sekunde umgerechnet. Die Sacklänge wird von Millimetern in Meter umgerechnet. Unter Berücksichtigung eines Sicherheitsfaktors wird nun die Überwachungszeit berechnet, die der Sack benötigt, um die Lichtschranke zu passieren. Um die Leistungskapazitäten der SPS für die Umrechnung nicht dauerhaft zu belasten, wird die Berechnung nur durch eine HMI-Bestätigung ausgelöst.

```
IF #Autocalc_HMI THEN
//Aus Programm DB lesen
#Bandgeschwindigkeit := "DB_PROG_DATA".ACT.PARA.DRIVES.PacingConveyor.Speed_SW1;
#Sacklänge := "DB_PROG_DATA".ACT.GENERAL.Bag.Length/1000.0;
#Sicherheitsfaktor := 0.1;
//Berechnung der Lichtschrankenunterbrechungszeit
#Bandgeschwindigkeit_sec := #Bandgeschwindigkeit / 60;
#Überwachungszeit := ((#Sacklänge / #Bandgeschwindigkeit_sec) * 1000.0);
```

```
#Überwachungszeit := #Überwachungszeit +#Überwachungszeit*#Sicherheitsfactor;
#Überwachungszeit_Taktband := DINT_TO_TIME(#Überwachungszeit);
//Auf Programm DB Schreiben
"DB_PROG_DATA".ACT.PARA.PACING_CONVEYOR.SuperVisionPacing:=
#Überwachungszeit_Taktband;
END_IF;
```

Quelltext 1: Berechnung der Überwachungszeit in Tiaportal, Quelle: Eigne Darstellung

Für die Berechnung wurden die Datentypen REAL und TIME verwendet. Die Umrechnung vom Datentyp DINT zum Datentyp TIME funktioniert automatisch. Nach der Berechnung wird die Zeit in einen Datenbaustein geschrieben, der mit dem aktuell ausgewählten Programm verknüpft ist. Da sich die Überwachungszeit im Zeitraum von 0,5 Sekunden bis 4 Sekunden abspielt, wurde eine Darstellungsart in Millisekunden gewählt.

6.3 Zentrierzeit in der Drehstation

Zur Bestimmung der Zentrierzeit müssen die Rampeneinstellungen aus dem übergeordneten Datenbaustein gelesen werden, um die Geschwindigkeitsabhängige Rampenzeit berechnet zu können. Zur Berechnung der Frequenzrichter spezifischen Ablauframpe müssen zunächst alle eingelesenen Datenpunkte aus dem Datenbaustein auf SI-Basiseinheiten umgerechnet werden. Anschließend muss der Abstand zwischen Drehstation Mitte und Sensorabstand berücksichtigt werden. Dieser wurde bei diesem Palettierertyp mit 63 Zentimeter gemessen. Der Korrekturfaktor ergibt sich anhand der Trendfunktion der aufgezeichneten Messung, welche in [Kapitel 7.4](#) beschrieben wird.

```
IF #Autocalc_HMI THEN
// Mechanische Eigenschaften aus Programm DB Lesen
#Durchmesser_Rolle := "DB_PAL_DATA".PARA_HW.TURN_CONV.CALC_SPD.DIAM_DRIVE_ROLL/1000.0;
#Übersetzung:= "DB_PAL_DATA".PARA_HW.TURN_CONV.CALC_SPD.GEAR_FACT_MOT;
#Ablauframpe:= "DB_PROG_DATA".ACT.PARA.DRIVES.TurningConveyor.RampDown;
#Bandgeschwindigkeit := "DB_PROG_DATA".ACT.PARA.DRIVES.TurningConveyor.Speed_SW1;
#Sacklänge := "DB_PROG_DATA".ACT.GENERAL.Bag.Length/1000.0;
#Abstand_Drehstation :=0.063;
#Bezugsdrehzahl:=3000.0;
#PI := 3.1415926536;
//Korrekturfaktor anhand der Trendfunktion
#Korrektur:=
0.0011*"DB_PROG_DATA".ACT.PARA.DRIVES.TurningConveyor.Speed_SW1+0.0011;
// Berechnung Zentrierzeit
#Rollen_Umfang := #Durchmesser_Rolle * #PI; // m
#Speed_FU := (#Übersetzung * #Bandgeschwindigkeit) / #Rollen_Umfang;
#B_Ablauframpe:= ((#Ablauframpe*1000.0/ #Bezugsdrehzahl)* #Speed_FU)/1000.0;
#Bandgeschwindigkeit_sec:= #Bandgeschwindigkeit / 60.0;
#Bremsbeschleunigung:= (#Bandgeschwindigkeit_sec) / #B_Ablauframpe;
#Weg_Ablauframpe:=(#Bremsbeschleunigung*#B_Ablauframpe*#B_Ablauframpe)/ 2.0;
#Zentrierzeit := (1000.0 * ((#Sacklänge / 2.0 - #Weg_Ablauframpe -
#Abstand_Drehstation - #Korrektur) / #Bandgeschwindigkeit_sec));
```

In Programm DB schreiben

```
"DB_PROG_DATA".ACT.PARA.TURN_UNIT.BagCenteringTime := DINT_TO_TIME(#Zentrierzeit);  
END_IF;
```

Quelltext 2: Zentrierzeitberechnung in TiaPortal, Quelle: Eigene Darstellung

Die Zahl PI muss in der SPS als eine Zahl vom Typ REAL implementiert werden. Hierbei werden zehn Nachkommastellen für die Zahl PI verwendet, um eine möglichst genaue Umfangsbestimmung zu erhalten. Die Zentrierzeit wird in Millisekunden ausgegeben, um die Lesbarkeit auf der HMI zu vereinfachen. Da die Zentrierzeit als Einschaltverzögerung für das Stoppen des Motors benötigt wird, wird diese Zeit vom Datentyp DINT in den Datentyp TIME umgewandelt. Die Funktion DINT_TO_TIME(#Zentrierzeit) kann automatisch Daten vom Datentyp DINT in den Datentyp TIME umwandeln. Da die Funktion der Berechnung die Zykluszeit der CPU beansprucht, wird sie nur einmal beim Drücken einer HMI-Taste ausgeführt.

6.4 Verzögerndes Starten und Positionieren am Lagenformband

Hier werden die Hauptkomponenten des Programmes herausgefiltert und beschrieben. Dabei gehen die einzelnen Quelltexte von Quelltext 4 bis Quelltext 7 nur auf 0-Grad oder 180-Grad gedrehte Säcke ein.

Abstandsberechnung

Zunächst wird der Abstand zwischen zwei Säcken behandelt. Wie bereits im vorherigen Kapitel beschrieben, werden die Mittelpunkte der grafischen Darstellung als Basis für die Berechnung herangezogen.

```
IF((#HMI_Sackdrehung_aktuell=0)OR(#HMI_Sackdrehung_aktuell=2))AND  
((#HMI_Sackdrehung_vergangen = 0) OR (#HMI_Sackdrehung_vergangen= 2)))  
THEN  
  #Abstand:= (ABS(#HMI_xPosition_aktuell-#HMI_xPosition_vergangen)/ 1000.0) -  
  #Sacklänge;  
END_IF;  
IF((#HMI_Sackdrehung_aktuell=0) OR (#HMI_Sackdrehung_aktuell=2)) AND  
((#HMI_Sackdrehung_vergangen=1) OR (#HMI_Sackdrehung_vergangen = 3))  
THEN  
  #Abstand := (ABS(#HMI_xPosition_aktuell-#HMI_xPosition_vergangen)/1000.0) -  
  ((#Sackbreite/2.0) +(#Sacklänge / 2.0));  
END_IF;
```

Quelltext 3: Abstandsberechnung in TiaPortal, Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Abstandsberechnung muss überprüft werden, ob der zuvor positionierte Sack um 90 Grad gedreht wurde oder nicht, damit die grafische Darstellung auf der HMI mit der tatsächlichen Positionierung übereinstimmt. Daher gibt es zwei Möglichkeiten zur Berechnung des Abstands zwischen den Säcken. Wurde der zu positionierende Sack auf 0 Grad oder 180 Grad ausgerichtet, was durch den Index „0“ und „2“ repräsentiert wird und der bereits positionierte Sack ebenfalls auf 0 Grad oder 180 Grad ausgerichtet, so wird der absolute Abstand zwischen den beiden Säcken berechnet und die Sacklänge abgezogen, um den relativen Abstand zu erhalten.

Die zweite Möglichkeit ergibt sich, wenn der aktuell zu positionierende Sack um 0 Grad oder 180 Grad gedreht wurde, während der bereits positionierte Sack eine Drehung von 90 Grad aufweist. Die 90 Grad-Drehung wird durch die Indexe „1“ und „3“ identifiziert. In diesem Fall muss der absolute Abstand zwischen den Mittelpunkten der grafischen Darstellung berechnet werden, von dem anschließend eine halbe Sackbreite und eine halbe Sacklänge abgezogen werden, um den relativen Abstand zu erhalten.

Der Befehl ABS() berechnet den absoluten Betrag. Dieser Befehl ist notwendig, da der Nullpunkt der Grafik sich in der Mitte der Darstellung befindet. Daher kann es vorkommen, dass ein Sack eine Koordinate von -100 und der darauffolgende Sack eine Koordinate von +100 hat. Der relative Abstand wäre in diesem Beispiel 200.

Erster Sack auf dem Lagenformband

Der erste Sack wird auf das Lagenformband positioniert, ohne dass das Lagenformband verzögert gestartet wird, da sich noch kein weiterer Sack auf dem Lagenformband befindet. Die Koordinaten des Sacks laut HMI greifen nicht, da der erste Sack nicht gleichzeitig der letzte Sack ist, bevor der Abschieber ihn in Richtung Ladeplatte schiebt.

```
#Korrektur:=0.0015*#Bandgeschwindigkeit +0.0015;
#B_Hochlauframpe:=((#Hochlauframpe * 1000.0 / #Bezugsdrehzahl) * #Speed_FU) / 1000.0;
#Startbeschleunigung:=(#Bandgeschwindigkeit / 60.0) / #B_Hochlauframpe;
#Weg_Ablauframpe:= (#Bremsbeschleunigung * #B_Ablauframpe * #B_Ablauframpe) / 2.0;
#Weg_Hochlauframpe:= (#Startbeschleunigung * #B_Hochlauframpe * #B_Hochlauframpe)/2.0;

// Erster Sack ist nicht letzter Sack und nicht gedreht
IF ((#HMI_Sackdrehung_aktuell = 0) OR (#HMI_Sackdrehung_aktuell = 2)) AND
#Letzter_Sack_Grafik = 0 AND #i=1
THEN
#Transportlänge_auf_Lagenformband:=(#Sacklänge/2.0)+#Abstand_Lagenformband_Mitte_Dreh-
tation;#Positionierzeit:=(1000.0*(((#Transportlänge_auf_Lagenformband-
#Weg_Ablauframpe-#Weg_Hochlauframpe+#Korrektur) / #Bandgeschwindigkeit_sec) +
#B_Hochlauframpe));
#Positionierzeit := DINT_TO_TIME(#Positionierzeit);
#Verzögerungszeit := t#0ms;
END_IF;
```

Quelltext 4: Erster Sack auf Lagenformband 0 und 180 Grad in TiaPortal, Quelle: Eigene Darstellung

Zur Bestimmung des Transportwegs muss die Orientierung des Sackes bekannt sein. Im angeführten Quellcode 4 wird die Ausrichtung mit 0 Grad oder 180 Grad abgefragt, wodurch der Sack in Förderrichtung liegt. Zunächst muss die Transportlänge des Sacks berechnet werden. Diese wird durch die lokale Variable #Transportlänge_auf_Lagenformband ermittelt. Anschließend wird diese Länge in eine Positionierzeit umgerechnet. Bei einem um 90 Grad gedrehten Sack wird die Transportlänge des Sackes, um die Hälfte der Sackbreite kürzer.

Alle Berechnungen werden mit dem Datentyp REAL oder DINT deklariert. Da die Positionierzeit, welche mit Hilfe des automatischen Ansatz berechnet wird, einen realen Unterschied zur tatsächlichen Position

aufweist, muss ein Korrekturfaktor angewendet werden. Dieser Korrekturfaktor wurde mithilfe der Rutscheigenschaften ([Kapitel 7.4](#)) bestimmt.

Die Verzögerungszeit für das Starten des Lagenformbandes kann beim Positionieren auf 0 Sekunden gesetzt werden. Dadurch wird für die Positionierzeit die gesamte Strecke von der Drehstation bis zum Anfang des Lagenformbandes berechnet. Der Sack bleibt am Anfang des Lagenformbandes stehen und wartet dort auf den nächsten Sack.

Die Variable #Letzter_Sack_Grafik ergibt sich aus der Anzahl der Säcke auf dem Lagenformband. Bei der höchsten Sackzahl wird diese Variable durch die grafische HMI Darstellung auf „1“ gesetzt.

Nicht erster und nicht letzter Sack auf das Lagenformband positionieren

Bei dieser Berechnung wird der Abstand zwischen den Säcken berechnet und auf eine Verzögerungszeit und Positionierzeit umgerechnet. Dabei ist ausschlaggebend, dass es sich nicht um den letzten oder ersten Sack auf dem Lagenformband handelt. Als Beispiel wurde ein 0 Grad oder ein 180 Grad Sack gewählt.

```
//Grafische Auswertung
IF((#HMI_Sackdrehung_aktuell = 0) OR (#HMI_Sackdrehung_aktuell = 2)) AND
#Letzter_Sack_Grafik = 0 AND #i>1
THEN
//Berechnung Verzögerungszeit mit Abstandsberücksichtigung
#Transportlänge_auf_Lagenformband:=#Abstand_Lagenformband_Mitte_Drehstation-#Abstand-
(#Sacklänge/2.0);
#Verzögerungszeit_DINT:=(1000.0*(((#Transportlänge_auf_Lagenformband-#Weg_Ablauframpe-
#Weg_Hochlauframpe)/#Bandgeschwindigkeit_sec) +#B_Hochlauframpe));
#Verzögerungszeit:=DINT_TO_TIME(#Verzögerungszeit_DINT);
//Berechnung Positionierzeit mit Abstandberücksichtigung
#Transportlänge_auf_Lagenformband:=(#Sacklänge/2.0)+
#Abstand_Lagenformband_Mitte_Drehstation+ #Korrektur+(#Abstand);
#Positionierzeit:=(1000.0*(((#Transportlänge_auf_Lagenformband-#Weg_Ablauframpe-
#Weg_Hochlauframpe)/#Bandgeschwindigkeit_sec)+ #B_Hochlauframpe))-
#Verzögerungszeit_DINT;
#Positionierzeit_HMI:= DINT_TO_TIME(#Positionierzeit);
END_IF;
```

Quelltext 5: Nicht erster und nicht letzter Sack SCL in TiaPortal, Quelle: Eigene Darstellung

Der aktuelle Sackzähler wird durch die lokale Variable „i“ dargestellt. Die Transportlänge des Sacks wird zweimal verwendet. Einerseits, um die Verzögerungszeit für das Starten des Lagenformbandes zu berechnen und andererseits, um die Positionierzeit zu berechnen.

Letzter Sack ist nicht erster Sack

Der letzte Sack für die Positionierung auf dem Lagenformband muss den aktuellen Sackabstand sowie die grafische Position auf dem Lagenformband erreichen. Als Beispiel wird ein 0 Grad oder 180 Grad Sack angenommen.

```
//grafische Auswertung Sackdrehung und Sacknummer
IF((#HMI_Sackdrehung_aktuell=0)OR(#HMI_Sackdrehung_aktuell=2))AND#Letzter_Sack_Grafik=
1 AND #i>1
```

```
THEN
//Verzögerungszeitberechnung mit Abstandsberücksichtigung
#Transportlänge_auf_Lagenformband:=#Abstand_Lagenformband_Mitte_Drehstation-#Abstand-
(#Sacklänge / 2.0);
#Verzögerungszeit_DINT:=(1000.0*(((#Transportlänge_auf_Lagenformband-#Weg_Ablauframpe-
#Weg_Hochlauf rampe) / #Bandgeschwindigkeit_sec) + #B_Hochlauf rampe));
#Verzögerungszeit:= DINT_TO_TIME(#Verzögerungszeit_DINT);

//Position des letzten Sackes auf Lagenformband
#HMI_x:= #HMI_xPosition_aktuell / 1000.0;

// Berechnung der Positionierzeit auf dem Lagenformband mit Korrekturfaktor
#Transportlänge_auf_Lagenformband:=(#Sacklänge/2.0)+
#Abstand_Lagenformband_Mitte_Drehstation+#Korrektur+ (#Abstand);
#HMIposition_mitte := ((#Lagenformaband_Länge/2.0)-(#Sacklänge / 2.0)-#HMI_x);
#Positionierzeit:=(1000.0*(((#Transportlänge_auf_Lagenformband-#Weg_Ablauframpe-
#Weg_Hochlauf rampe+#HMIposition_mitte) / #Bandgeschwindigkeit_sec)+#B_Hochlauf rampe))-
#Verzögerungszeit_DINT;
#Positionierzeit_HMI:= DINT_TO_TIME(#Positionierzeit);
END_IF;
```

Quelltext 6: Letzter Sack ist nicht erster Sack SCL in TiaPortal, Quelle: Eigene Darstellung

Zur Berechnung der grafischen Position wird die halbe Lagenformbandlänge minus der grafischen Darstellungsposition des Sacks und minus der halben Sacklänge gerechnet. Die andere Hälfte wird bei der Transportlänge addiert.

Letzter Sack ist erster Sack

Ist der erste Sack gleichzeitig der letzte Sack, bevor der Lagenabschieber ihn abholt, wird dieser vollständig auf das Lagenformband transportiert, basierend auf der grafischen Darstellung. Da sich noch kein weiterer Sack auf dem Lagenformband befindet, wird die Verzögerungszeit auf 0 gesetzt.

```
//Grafische Auswertung
IF (((#HMI_Sackdrehung_aktuell = 0) OR (#HMI_Sackdrehung_aktuell = 2)) AND
#Letzter_Sack_Grafik = 1 AND #i = 1)
THEN
//Positionierzeit Berechnung
#HMI_x:= #HMI_xPosition_aktuell / 1000.0;
#HMIposition_mitte:= (#Lagenformaband_Länge/2.0 - #HMI_x);
#Transportlänge_auf_Lagenformband:=#Abstand_Lagenformband_Mitte_Drehstation+#HMIposition_
n_mitte;
#Positionierzeit:=(1000.0*(((#Transportlänge_auf_Lagenformband-#Weg_Ablauframpe -
#Weg_Hochlauf rampe+#Korrektur) / #Bandgeschwindigkeit_sec) + #B_Hochlauf rampe));
#Positionierzeit_HMI:=DINT_TO_TIME(#Positionierzeit);
END_IF;
```

Quelltext 7: Letzter Sack der Lagenformung ist erster Sack, Quelle: Eigene Darstellung

Bei der Positionierung des letzten Sacks wird die Endposition des grafisch erstellten Lagenmusters abgefragt, um den Sack weiter als nur bis zum Anfang des Lagenformbandes zu positionieren. Die Information, ob es sich um den letzten Sack handelt, wird durch eine Schleifenoperation ermittelt.

Grafische Darstellung des Lagenformbandes am HMI

Um die Inbetriebnahmezeit zu verkürzen, muss die Bedienungsoberfläche leicht verständlich sein. Daher wurde die folgende Darstellung gewählt.

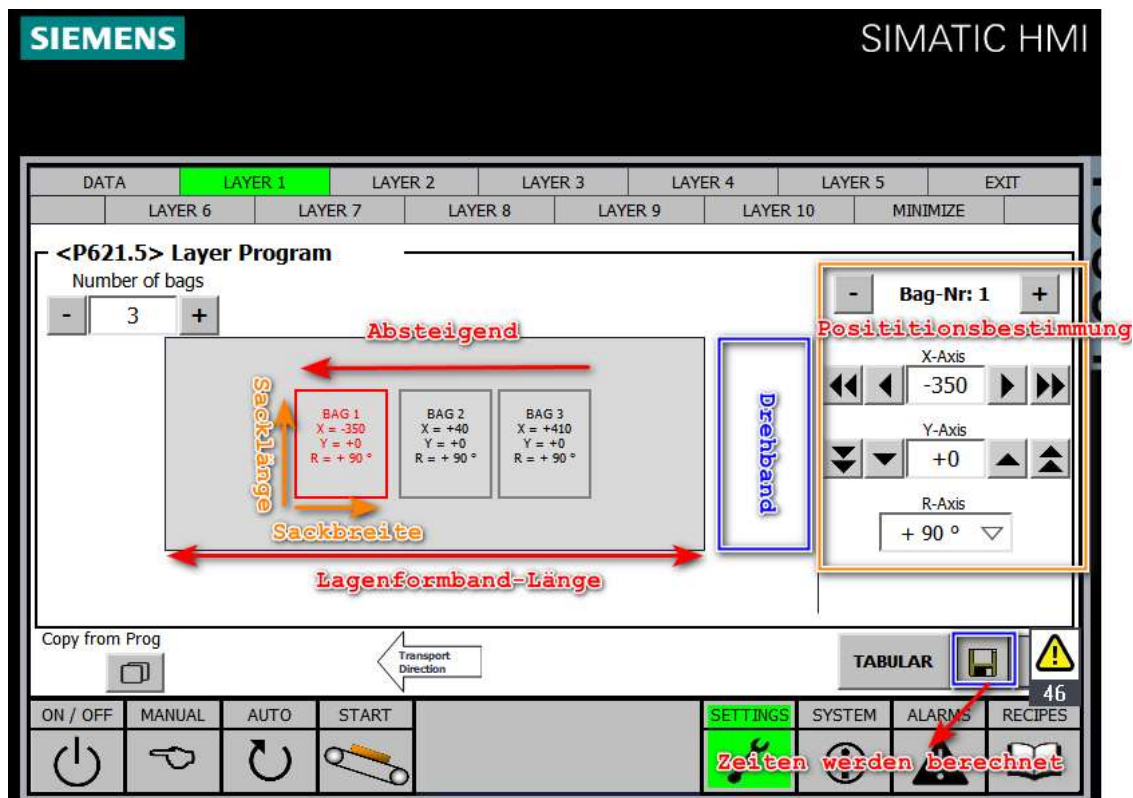


Abb. 40: Grafische Darstellung Lagenformband, Quelle: Eigene Darstellung

Die grafische Darstellung skaliert die Sackgrößen anhand der eingegebenen Sackdimensionen, um ein schnelles visuelles Feedback zu ermöglichen. Die Koordinaten der Säcke werden in einem Datenbaustein gespeichert. Die Platzierung der Säcke kann über die Pfeiltasten verschoben werden. Damit das SPS-Programm die Sackabstände richtig bestimmen kann, muss darauf geachtet werden, dass die Reihenfolge der Säcke absteigend in Richtung der Transportrichtung ausgerichtet ist. Der Abstand zwischen zwei Säcken wird anhand der Mittelpunkte der grafischen Darstellung ermittelt. Die Lagenformbandlänge wird im Programm als Variable hinterlegt, um unterschiedliche Lagenformbandlängen visualisieren zu können.

Mit der R-Achse wird die Rotation des Sacks eingestellt. Dabei besteht die Möglichkeit, zwischen einem Sack mit 0 Grad, einer Drehung um +90 Grad, -90 Grad oder 180 Grad zu wählen.

6.5 Zentrierzeit am Hubtisch

Durch den Einsatz von direkt anlaufenden Asynchronmotoren mit unterschiedlichen Getriebestufen in der Leerpalettenfördertechnik ergeben sich je nach Anlage verschiedene Transportgeschwindigkeiten auf dem

Hubtischrollenförderer. Diese Transportgeschwindigkeit hängt von der erforderlichen Leistungsfähigkeit ab, um den Palettentausch so effizient wie möglich zu gestalten.

```
IF #Autocalc_HMI THEN
//Mechanische Parameter aus Programm DB lesen
#Durchmesser_Rolle:= "DB_PAL_DATA".PARA_HW.ELEVATOR_CONV.CALC_SPD.DIAM_DRIVE_ROLL /
1000.0;
#Übersetzung := "DB_PAL_DATA".PARA_HW.ELEVATOR_CONV.CALC_SPD.GEAR_FACT_MOT;
#Ablauframpe := "DB_PROG_DATA".ACT.PARA.DRIVES.TurningConveyor.RampDown/ 1000.0;
#Transportgeschwindigkeit:=
"DB_PROG_DATA".ACT.PARA.DRIVES.ElevatorRollerConveyor.Speed_SW1;
#Palettenlänge := "DB_PROG_DATA".ACT.GENERAL.Pallet.Length / 1000.0;
#Abstand_Mitte_Rollengang := 0.36;
#PI := 3.1415926536;
//Ablauframpe Berechnen des FUs
#Rollen_Umfang := #Durchmesser_Rolle * #PI;
#Speed_FU := (#Übersetzung * #Transportgeschwindigkeit) / #Rollen_Umfang;
#Bezugsdrehzahl:= 3000.0;
#B_Ablauframpe:= ((#Ablauframpe*1000.0/#Bezugsdrehzahl)*#Speed_FU)/1000.0;
#B_Hochlauframpe:=((#Hochlauframpe*1000.0/#Bezugsdrehzahl*#Speed_FU)/ 1000.0;
#Transportgeschwindigkeit_sec := #Transportgeschwindigkeit/60.0;
#Bremsbeschleunigung := (#Transportgeschwindigkeit/60.0)/#B_Ablauframpe;
#Weg_Ablauframpe:= (#Bremsbeschleunigung*#B_Ablauframpe*#B_Ablauframpe)/2.0;
//Zentrierzeitberechnung
#Paletten_Zentrierzeit:=(1000.0*((#Palettenlänge/2.0-#Weg_Ablauframpe-
#Abstand_Mitte_Rollengang) / #Transportgeschwindigkeit_sec));
"DB_PROG_DATA".ACT.PARA.PAL.CenteringTime:=
DINT_TO_TIME(#Paletten_Zentrierzeit);
END_IF;
```

Quelltext 8: Palettentzentrierzeit, Quelle: Eigene Darstellung

Die erforderlichen Parameter werden aus einem Programmdatenbaustein ausgelesen, wobei diese von Programm zu Programm variieren können. Ähnlich wie bei der Drehstation werden die Parameter zunächst in Basiseinheiten umgewandelt. So wird beispielsweise die Palettenlänge von Millimetern in Meter konvertiert. Die Rampenzeit wird zur Vereinfachung im HMI in Millisekunden angezeigt, weshalb dieser Wert durch 1000.0 geteilt werden muss, um ihn in Sekunden umzurechnen. Die Zahl Tausend wird mit einer Nachkommastelle geschrieben, um sie als Datentyp REAL implementieren zu können.

Die Transportgeschwindigkeit wird von Metern pro Minute in Meter pro Sekunde umgerechnet. Anschließend muss der Weg der Auslauframpe ($\#Weg_Auslauframpe$) berechnet werden. Die Palettentzentrierzeit ergibt sich aus der halben Palettenlänge minus dem Weg der Auslauframpe minus dem Abstand des Sensors, der außermittig montiert ist, geteilt durch die Transportgeschwindigkeit. Die berechnete Zeit wird anschließend erneut in Millisekunden umgewandelt, weshalb der Wert durch 1000.0 multipliziert wird.

7 ERKENNTNISSE FREQUENZUMRICHTER-SPS FÜR POSITIONIERUNG

Im folgenden Kapitel werden die Erkenntnisse für die automatische Positionierung der einzelnen Säcke erläutert.

7.1 Frequenzumrichter Verhalten mit SPS – Ansteuerung

Die Signale zum Starten und Stoppen werden über die Buskommunikation übertragen. Daher ergibt sich ein maximaler Fehler von 12 Millisekunden für die CPU-Zykluszeit und 14 Millisekunden für die Kommunikation mit dem Frequenzumrichter. Somit ergibt sich eine Zykluszeit von rund 26 Millisekunden für das Ansteuern des Frequenzumrichters.

Diese Annahme ist auf eine zeitliche Messung zurückzuführen.

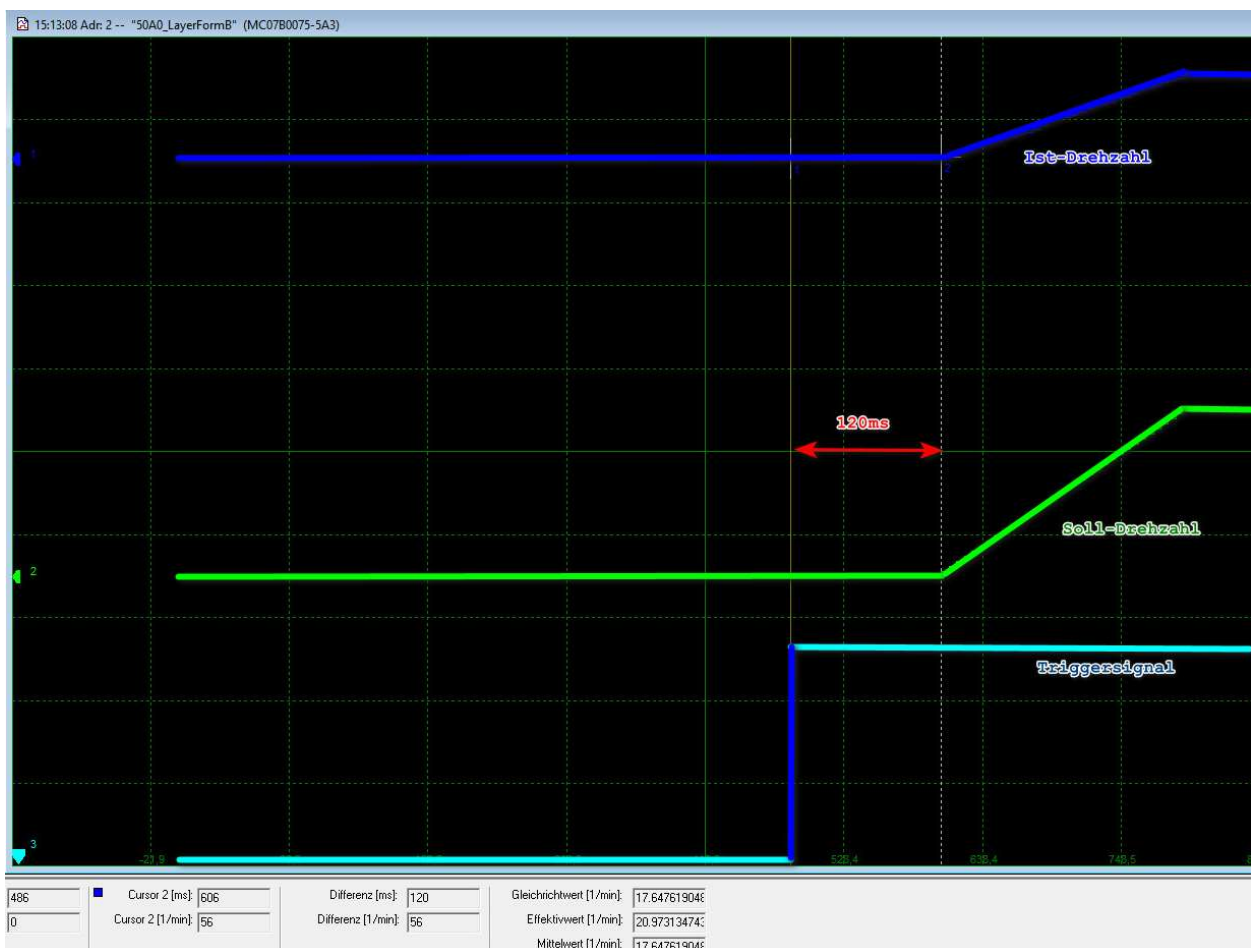


Abb. 41: Messwert am Frequenzumrichter, Quelle: Eigene Darstellung

Die Aufzeichnung (Abbildung 41) wurde mithilfe von Movitools im Frequenzumrichter durchgeführt. Das Triggersignal wurde dabei digital von der SPS an den Frequenzumrichter gesendet, und der Startbefehl kam ebenfalls von der SPS über den Kommunikationsbus. Die Aufzeichnung der SPS zeigte jedoch ein anderes Ergebnis. In der folgenden Aufzeichnung, erstellt mit TIA Portal, lässt sich erkennen, dass der Zeitunterschied in der SPS 160 Millisekunden beträgt.



Abb. 42: Messwert in der SPS, Quelle: Eigene Darstellung

Die Rückmeldung des Frequenzumrichters zur Ist-Drehzahl weist eine Verzögerung von 160 Millisekunden auf. Daher kann man davon ausgehen, dass zwischen dem Senden der Daten von der SPS zum Frequenzumrichter und dem Empfang vom Frequenzumrichter etwa 40 Millisekunden vergehen.

7.2 Motordrehzahl

Eine weitere Eigenschaft des Frequenzumrichters ist die Schlupfkompensation. Laut Datenblatt von SEW wird diese bis zu einer Drehzahl von 500 Umdrehungen pro Minute kompensiert. Durch die Getriebeübersetzungen werden jedoch Drehzahlen von bis zu 2400 Umdrehungen pro Minute am Motor benötigt. Daher entsteht zwangsläufig ein Unterschied zwischen Soll- und Ist-Drehzahl und die Drehzahl des Förderbandes wird lastabhängig.

Durch ein Handmessgerät wurden folgende gemittelten Abweichungen festgestellt:

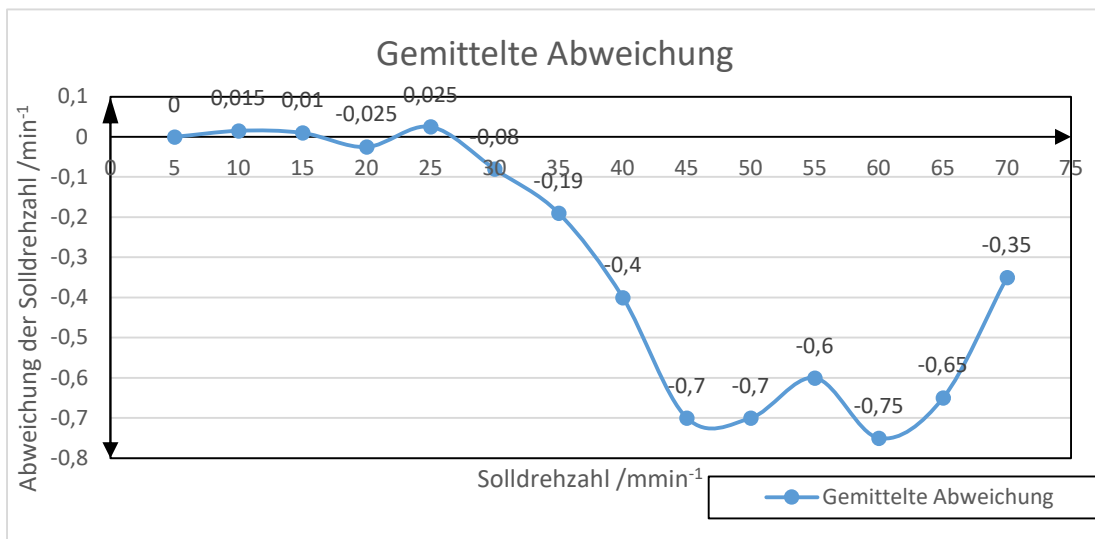


Abb. 43 Drehzahlabweichung, Quelle: Eigene Darstellung

Auf der X-Achse ist die gemittelte Abweichung des handgemessenen Wertes eingetragen und der Soll-Drehzahl gegenübergestellt. Das Förderband wurde dabei im Leerlauf gemessen. Es ist deutlich erkennbar, dass die Abweichung im Leerlauf mit steigender Drehzahl in den negativen Bereich geht. Die Schwankungen der Abweichung im Bereich von 40 bis 70 Metern pro Minute können auf Messfehler des Handgeräts zurückgeführt werden.

7.3 Rutschverhalten der Säcke

Das Rutschverhalten der Säcke hängt stark vom Reibwert zwischen dem Sackmaterial und der Oberflächenbeschaffenheit des Fördergurtes ab. Auch das Gewicht des Sackes und die damit verbundene Trägheit des Körpers spielen dabei eine Rolle. Für den Rutschversuch wurde ein Polyurethan-imprägnierter Fördergurt verwendet, der hinsichtlich der Oberflächenbeschaffenheit die gleichen Eigenschaften wie das Lagenformband und das Drehförderband aufweist. Zur Bestimmung des Rutschweges wurde die momentane Position des Sackes mithilfe des in [Kapitel 5.2.3](#) beschriebenen Sensors gemessen und mit der aktuellen Motorgeschwindigkeit des Frequenzumrichters verglichen.

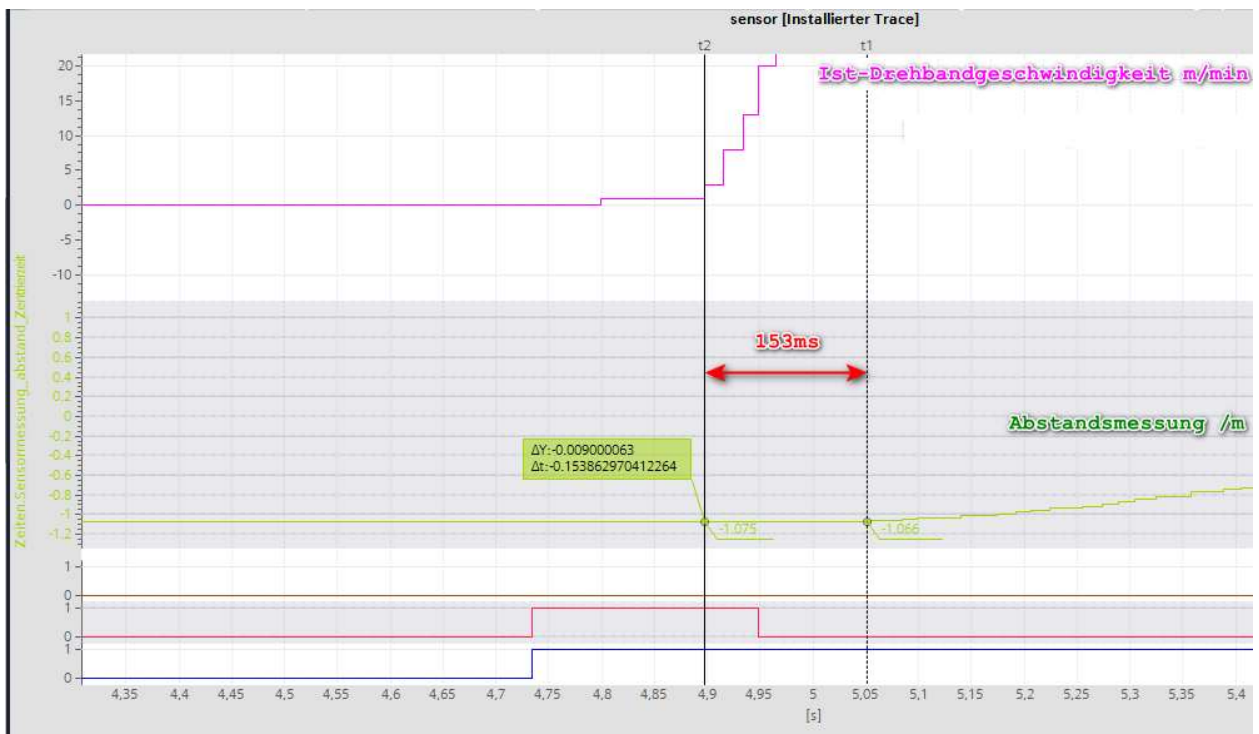


Abb. 44: Abstandsmessung-Rutscheigenschaft, Quelle: Eigene Darstellung

Die Messung, die in Abbildung 44 dargestellt ist, wurde mit TIA Portal aufgezeichnet. Es ist erkennbar, dass der Motor bereits in Bewegung ist, jedoch hat sich der Abstandswert anhand der Messung noch nicht merklich verändert. Erst nach einer Zeit von 153 Millisekunden beginnt sich der Sack zu bewegen. In diesen 153 Millisekunden müssen die Zykluszeit für die 20 Millisekunden Buskommunikation zum Frequenzumrichter und die Abtastzeit des Sensors von 50 Hz berücksichtigt werden. Daraus ergibt sich eine effektive Verschiebungszeit (t_v) von etwa 113 Millisekunden. Aufgrund der 113 Millisekunden Verzögerung kann davon ausgegangen werden, dass der Sack beim Start des Förderbandes durchrutscht.

Die errechnete Beschleunigung des Frequenzumrichters (a) ist $3,76 \text{ ms}^{-2}$. Daher ergibt sich folgende Berechnung:

$$s_R = \frac{a}{2} t_v^2 \quad (7.1) \quad s_R/m \quad \text{Rutschweg}$$

a/ms^{-2} Beschleunigung

t_v/s Verschiebezeit

Durch das Einsetzen der gegebenen Parameter ergibt sich ein Rutschweg (s_R) von 0.024 Meter.

Da während des Start- und Stoppversuchs die Rampen- und Bandgeschwindigkeitseinstellungen nicht verändert wurden, wird der Vereinfachung halber angenommen, dass sich das Rutschverhalten beim Stoppen ähnlich verhält wie beim Starten.

Die Trace-Funktion der SPS erbrachte folgendes Ergebnis.

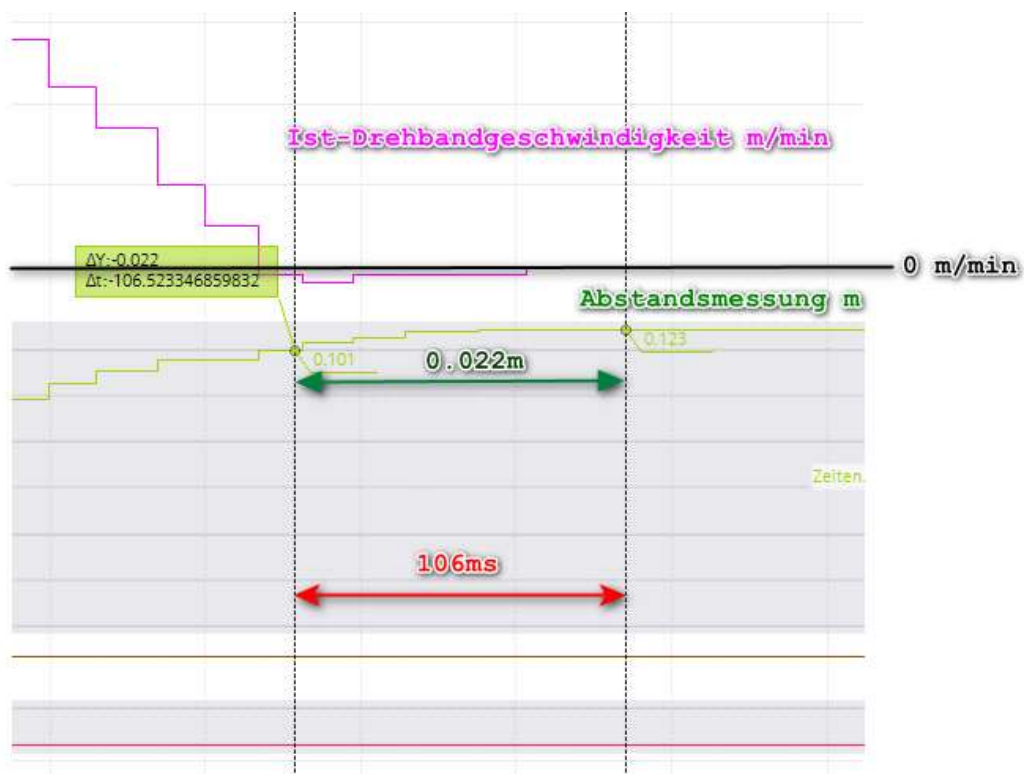


Abb. 45: Rutschweg- Stoppen, Quelle: Eigene Darstellung

Die Grafik in Abbildung 45 zeigt einerseits die Rutschzeit von 106 ms ab dem Zeitpunkt, an dem die Ist-Drehbandgeschwindigkeit bereits unter 0 gefallen ist. Der Frequenzumrichter gab eine negative Ist-Drehbandgeschwindigkeit aus, weil der Frequenzumrichter-Regler in eine negative Drehrichtung übersteuert hat, das Förderband stand jedoch dabei still. Daher rutscht der Sack bei einer voreingestellten Bandgeschwindigkeit von 65 Metern pro Minute mit einer negativen Beschleunigung von $3,76 \text{ ms}^{-2}$ um 22 Millimeter nach.

7.4 Korrekturfaktor für Zentrierzeit

Anhand einer Messreihe wurden drei unterschiedliche Säcke mit verschiedenen Geschwindigkeiten in der Mitte des Sensors gestoppt, um eine Kompensationsrechnung als Korrekturfaktor für die mathematische Positionierberechnung zu entwickeln. Die Abhängigkeiten zwischen Asynchronmotor, Frequenzumrichter, SPS, Sensortechnologie und Sackeigenschaften lassen sich nicht in einem exakten mathematischen Zusammenhang darstellen, der alle Faktoren in einer SPS abbilden könnte. Daher wurde eine Referenzkurve ermittelt, um einen geeigneten Korrekturfaktor für die verschiedenen Bandgeschwindigkeiten zu erhalten. Zur Bewertung der Abstandsmessung wurde erneut der optische Abstandssensor verwendet.

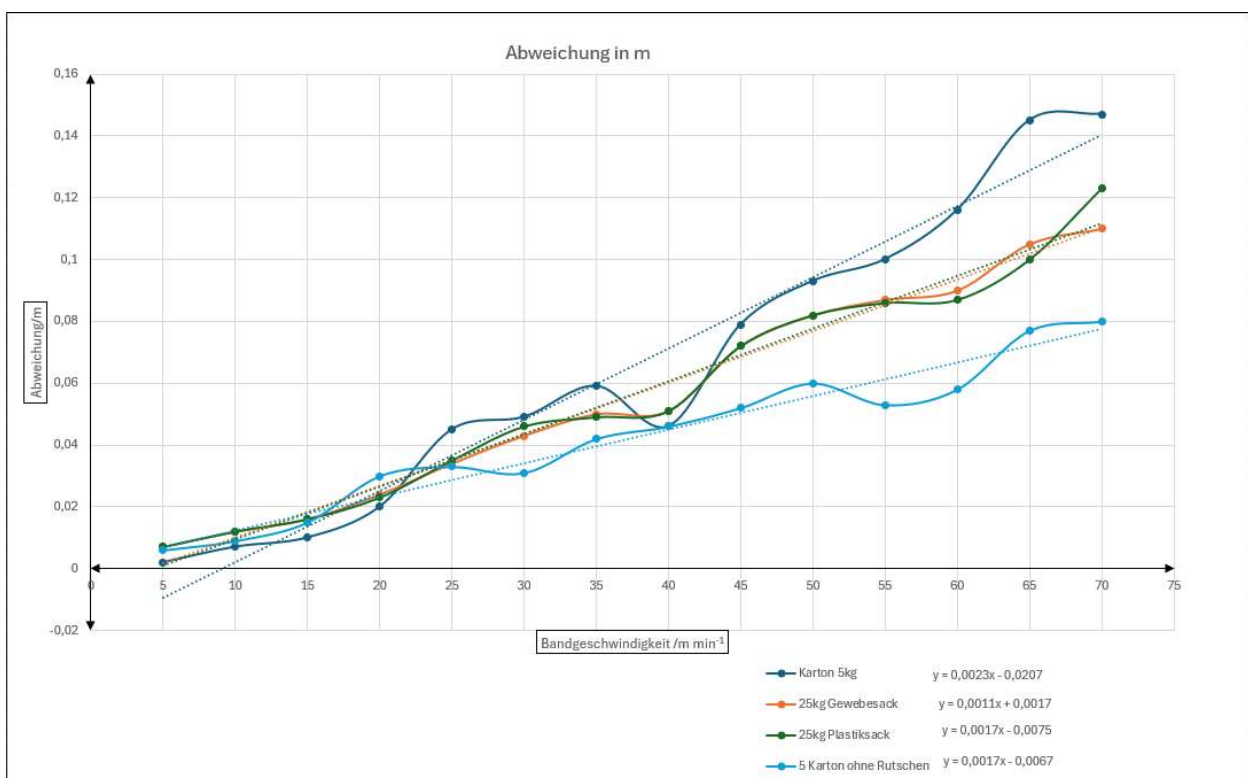


Abb. 46: Korrekturfaktor für Sackzentrierung

Die Grafik in Abbildung 46 zeigt die Korrekturgleichungen, die vom berechneten Transportweg abgezogen werden, um den Frequenzumrichter beim Stoppen genauer zu steuern und ein präziseres Ergebnis für die Sackzentrierung zu erzielen. Die aufgenommenen Messpunkte wurden durch lineare Interpolation geglättet und mittels einer Trendlinengleichung dargestellt. Dieser Korrekturfaktor wird für die Zentrierzeit in der Drehstation verwendet. Die Korrekturgleichung wurde für fünf verschiedene Gebindearten ermittelt. Zur Überprüfung der Funktionalität wurde die Messung anschließend mit einem 25 Kilogramm Gewebesack wiederholt. Dabei ergab sich folgende Abweichungen.

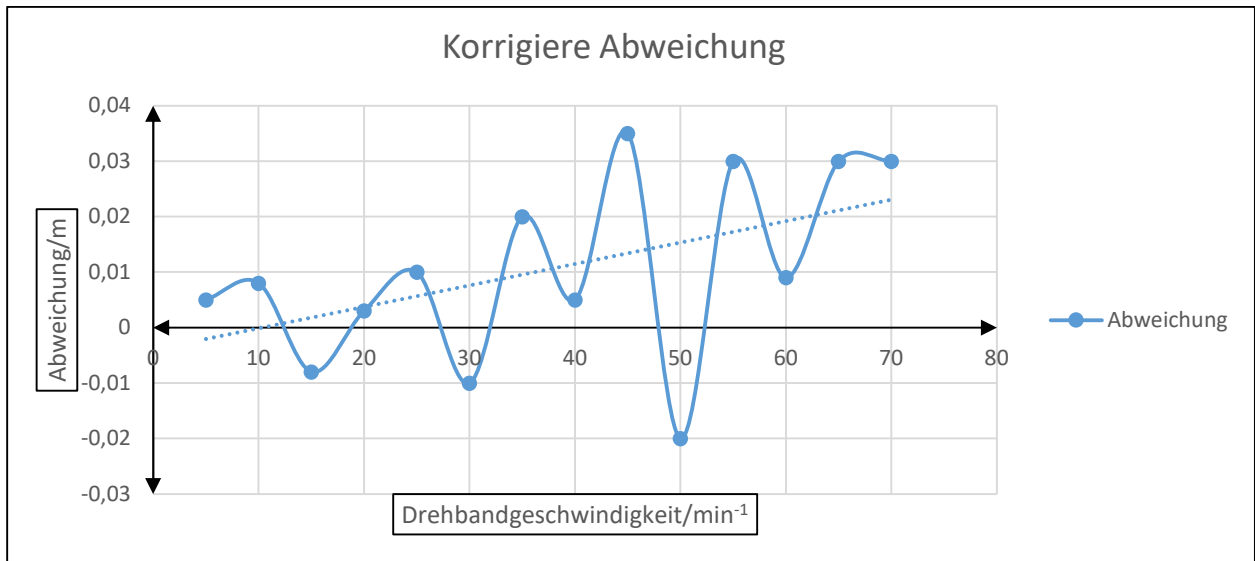


Abb. 47: Korrigierte Abweichung, Quelle: Eigene Darstellung

Die korrigierte Abweichung zeigt in Abbildung 47 eine schwingende Bewegung um den Nullpunkt, die sowohl positive als auch negative Werte annehmen kann. Die Schwingung ist vermutlich auf die Ungenauigkeit des Sensors, die Zykluszeit der CPU und die Trägheit des Asynchronmotors zurückzuführen. Da der optische Abstandssensor eine Messgenauigkeit von 5 bis 15 Millimetern aufweist, liegt die Schwankung der Korrektur Großteils innerhalb der Messtoleranz.

7.5 Korrekturfaktor für Positionierung auf dem Lagenformband

Ein Korrekturfaktor muss für die Positionierung auf dem Lagenformband eingebunden werden, um die errechnete Position erreichen zu können. Da der Abstandsfehler im direkten Zusammenhang mit der Positionierzeit steht für Säcke die 0 oder 180 Grad gedreht werden, wurde bevor diese Messung gestartet ist die Korrekturformel für die Zentrierzeit angewandt und anschließend die Positionierung auf das Lagenformband getestet. Wird der Korrekturfaktor für die Zentrierzeit nicht angewendet so werden Säcke welche bereits bei der Zentrierung zu kurz oder weit gefahren sind auch auf dem Lagenformband zu kurz oder weit transportiert und die Abweichung addiert sich.

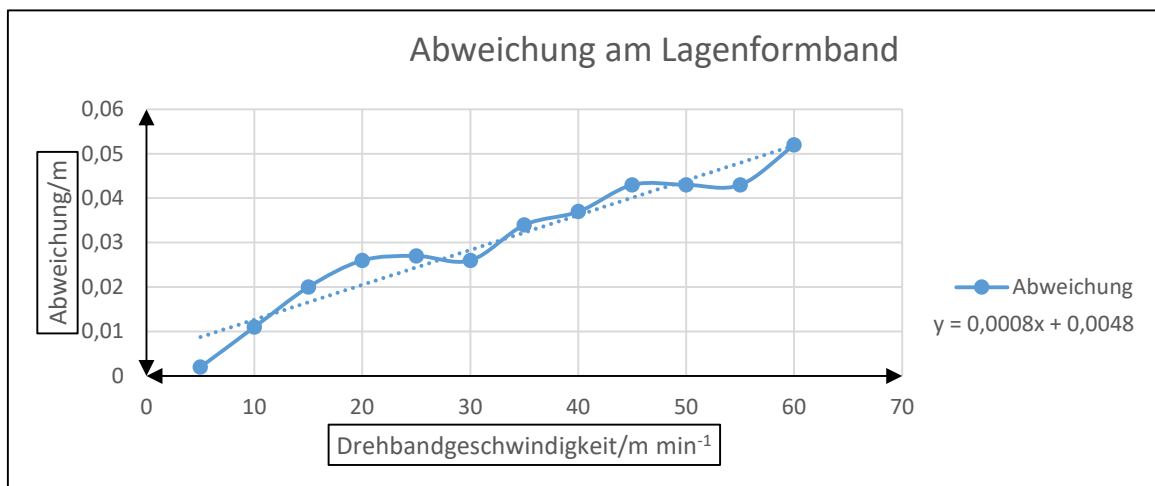


Abb. 48: Korrekturfaktor Positionierung, Quelle: Eigene Darstellung

Anhand von Abbildung 48 lässt sich, ähnlich wie bei der Korrektur der Zentrierzeit, erkennen, dass der 25 Kilogramm Gewebesack eine lineare Tendenz aufweist, bei der er auf dem Lagenformband zu kurz positioniert wird. Besonders bei höheren Bandgeschwindigkeiten zeigt sich eine deutliche Abweichung von bis zu 5,5 Zentimetern. Mithilfe einer linearen Interpolation wurde eine Korrekturformel entwickelt, die die Abhängigkeit von der Bandgeschwindigkeit berücksichtigt. Diese Korrekturformel, die in Abbildung 48 dargestellt ist, wird in die Berechnung der Positionierzeit einbezogen.

7.6 Leuchtfleck des Sensors

Während der Versuchsreihe wurden zwei verschiedene Sensoren zur Bestimmung der Zentrierzeit getestet. Der Leuchtfleck der beiden Sensoren war unterschiedlich groß, was beeinflusst, wie weit das Objekt vom Sensor entfernt war. Da ein Sack keine ebenen Flächen aufweist, können sich daraus verschiedene Schaltpunkte ergeben.

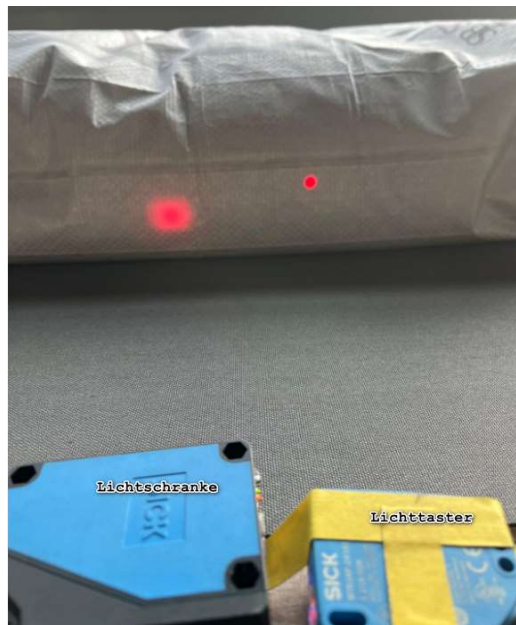


Abb. 49: Leuchtfleck-Sensor, Quelle: Eigene Darstellung

Anhand der Abbildung 49 ist der Größenunterschied deutlich sichtbar. Der im [Kapitel 5.2.3](#) beschriebene Reflexionslichttaster weist ein wesentlich besseres Ansprechverhalten auf als die Lichtschranke. Ein zusätzlicher Faktor für verschiedene Schaltpunkte ist die Sackgeometrie, insbesondere der Sackkopf oder Sackboden. Durch unebene Oberflächen kann es leicht zu einem Prellen des Sensors kommen.

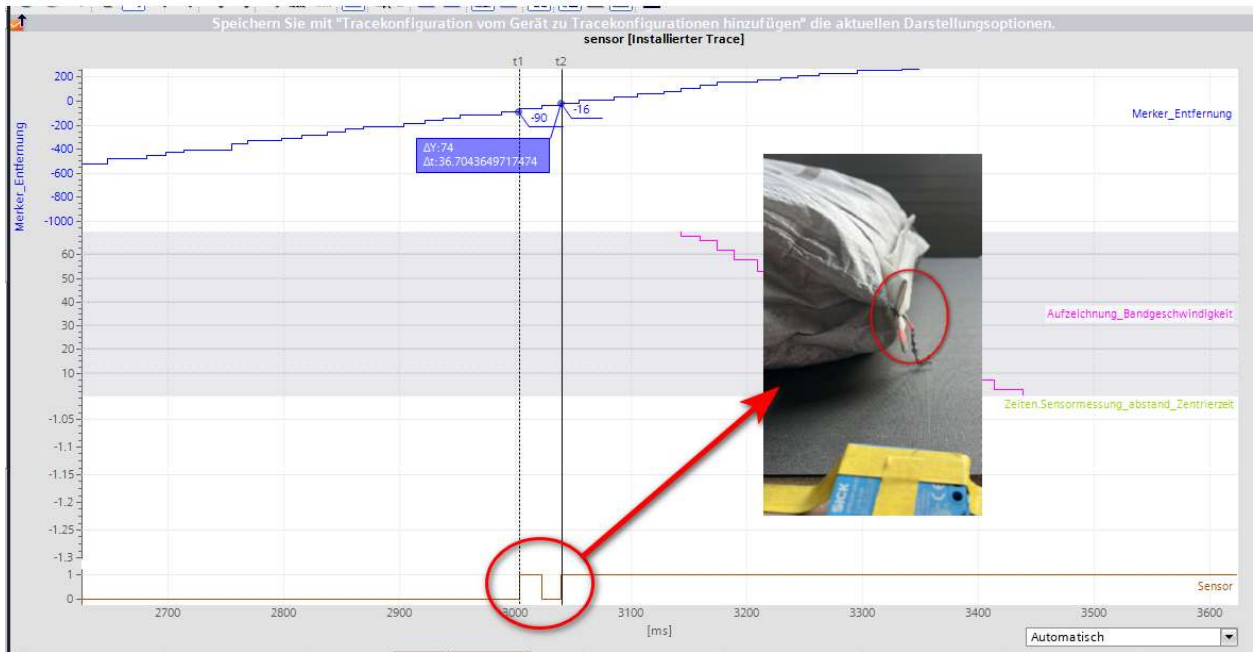


Abb. 50: Prellen des Sensors, Quelle: Eigene Darstellung

In Abbildung 50 erkennt man ein Prellen des Sensors in der SPS-Aufzeichnung. Dieses Flackern kann durch eine Dämpfungszeit am Eingang unterbunden werden. Da jedoch die Verzögerungszeiten bei hohen Bandgeschwindigkeiten von bis zu 60 Metern pro Minute im Bereich von ein paar 100 Millisekunden für die Zentrierzeit genutzt werden, wird versucht, die Dämpfungszeit so niedrig wie möglich zu halten.

Das Flackern des Sensors kann zu einer Ungenauigkeit bei der Positionierzeit auf dem Lagenformband führen. Bei 90 Grad gedrehten Säcken hat dies jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Sackdrehung, da eine Abweichung von 2 Zentimetern in der Drehstation vernachlässigbar ist. Durch die 90-Grad-Drehung wird die Längsseite des Sacks ohnehin auf das Transportband ausgerichtet, sodass es zu keiner Verschiebung der Position in Förderrichtung kommt. Bei 0 Grad oder 180 Grad gedrehten Säcken hingegen übertragen sich diese 2 Zentimeter auf die Lagenformbandposition, können jedoch später durch die Pressung der seitlichen Schieber korrigiert werden.

7.7 Abstände zwischen den Säcken auf dem Lagenformband

Um eine genaue Abstandsermittlung zu gewährleisten, wurden rechteckige Kartons für die Messung verwendet, um die Asymmetrie der Säcke auszublenken. Am HMI wurde kein Abstand zwischen zwei Säcken definiert. Bei einer Geschwindigkeit von 15 Metern pro Minute herrschte kein Abstand auf dem Lagenformband. Die folgende grafische Darstellung (Abb.51) wurde mit Hilfe der Tracefunktion visualisiert.

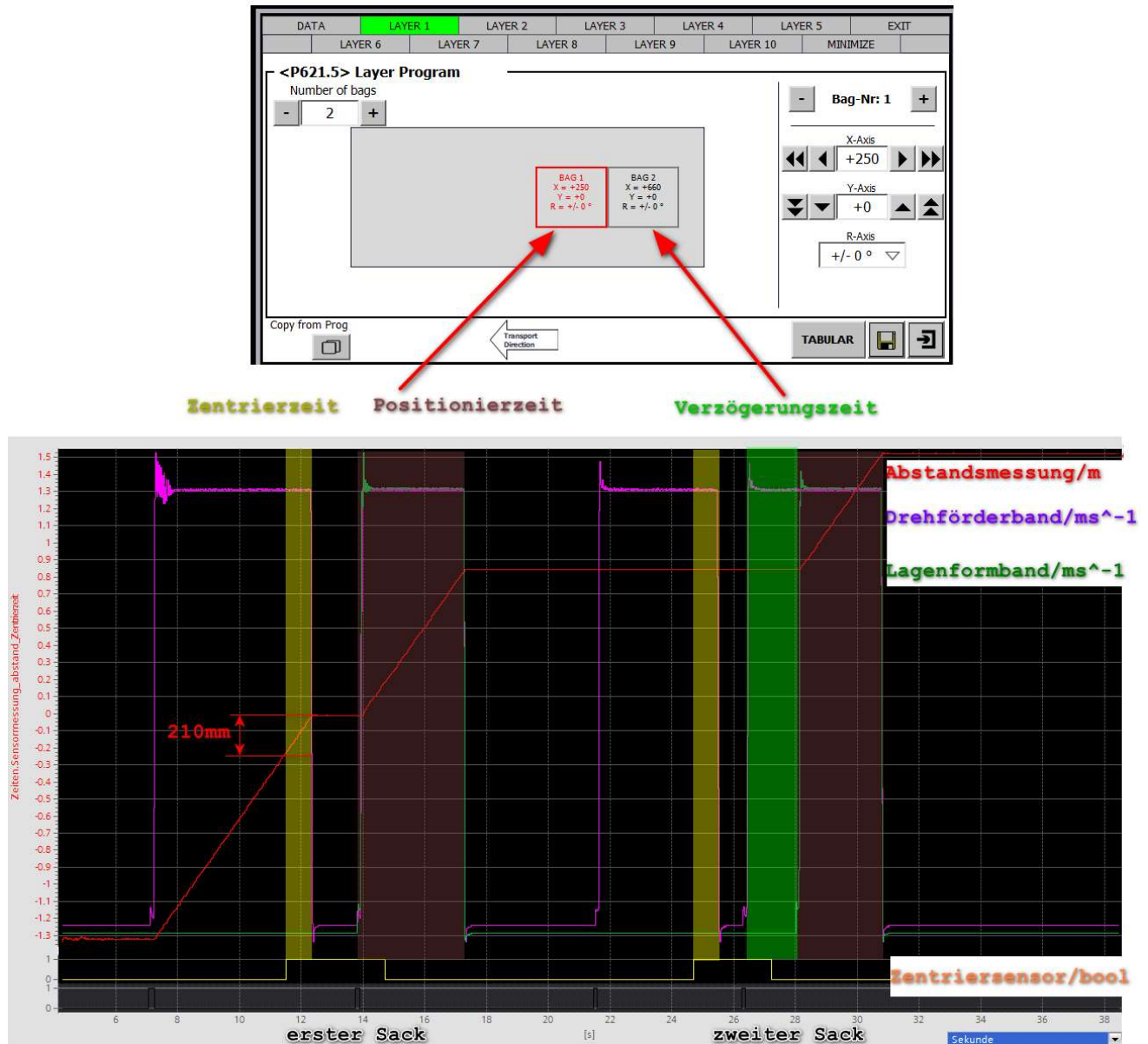


Abb. 51: Positionstrace 15 Meter pro Minute, Quelle: Eigene Darstellung

Der gelb markierte Bereich zeigt die Zentrierzeit, die benötigt wird, um den Karton mittig in der Zentrierlichtschanke zu positionieren. Mithilfe des Korrekturfaktors für die Zentrierung wurde eine Strecke von 210 Millimetern auf dem Förderband zurückgelegt. Die Kartonlänge betrug 415 Millimeter. Der zeitliche Versatz zwischen dem Ende der Zentrierzeit und dem Beginn der Positionierzeit wurde manuell unterbrochen, um den Drehvorgang zu implementieren.

Anschließend startet die Positionierung des ersten Sacks. Da sich noch kein Sack auf dem Lagenformband befindet, wird hierbei keine Verzögerungszeit verwendet. Der erste Sack wird auf das Lagenformband übergeben und wartete dort auf den zweiten Sack. Dieser stoppt nach der Zentrierzeit, bevor er anschließend auf das Lagenformband positioniert wird. Um dies zu erreichen, wird das Lagenformband verzögert gestartet und läuft solange bis die Positionierzeit des zweiten Sacks sowie den am HMI eingegebenen Endpositions Wert erreicht hat.

Das physikalische Endresultat ergab folgendes.



Abb. 52: Abstand bei 5 Meter pro Minute, Quelle: Eigene Darstellung

Die Geschwindigkeit wurde anschließend erhöht, und der gleiche Versuch wurde erneut durchgeführt. Bei einer Bandgeschwindigkeit von 65 Metern pro Minute wurde ein Abstand von rund 15 Millimetern gemessen.



Abb. 53: Abstand bei 65 Meter pro Minute, Quelle: Eigene Darstellung

Dieser entstandene Abstand kann auf die zuvor definierten Abhängigkeiten des Zentriersensors, der Zykluszeit der CPU und den Eigenschaften des Frequenzumrichters zurückgeführt werden. Für diesen Abstand wurde kein Korrekturfaktor ermittelt, da diese Genauigkeit nicht bestimmbar ist und bei höheren Geschwindigkeiten von Sack zu Sack unterschiedlich sein kann.

Um die technischen Betrachtungen abzurunden, ist es wichtig, auch die wirtschaftlichen Aspekte eines Palettierers zu beleuchten.

8 WIRTSCHAFTLICHE BETRACHTUNG EINES PALETTIERERS

Um wettbewerbsfähig zu bleiben, müssen Unternehmen konsequent die drei Schlüsselfaktoren Kosten, Qualität und Zeit im Blick behalten. Dies ist jedoch oft nicht einfach umzusetzen. Viele Unternehmen konzentrieren sich stark auf Kostensenkungen und kennen die genauen Herstellkosten, sowie die Qualität ihrer Produkte. Die Durchlaufzeit der Produkte ist jedoch oft nicht bekannt und wird daher auch selten als Ziel verfolgt.⁴⁵

Auch der Einsatz von neuen Technologien kann einen wirtschaftlichen Mehrwert hinsichtlich Effizienz und Kosten in Bezug auf die Inbetriebnahme haben.

Aufgrund dessen wird in diesem Kapitel die Wirtschaftlichkeit der Lagenformung eines Hochlagenpalettierers einem Roboterpalettierer gegenübergestellt und anschließend deren zeitliche Einflussgrößen für die Inbetriebnahme von Säcken analysiert. Dabei spielt die Anzahl der Säcke pro Lage und deren Leistungskapazität von Säcken pro Stunde eine wesentliche Rolle. Eine wirtschaftliche Aufstellung der technologischen Möglichkeiten dient zur Steigerung der Durchlaufzeit und zur Beibehaltung der stabilen Lagenformung.

Der Prozess der Erstinbetriebnahme einer Anlage beginnt mit dem Anfahren der Maschine und reicht bis zur vertraglichen Bestätigung durch die Anlagenübergabe. Als Anlagenübergabe kann auch eine werkvertragliche Abnahme verstanden werden.⁴⁶

Das Ziel in der Verpackungsindustrie ist es, am Ende der Inbetriebnahme eine stabile Verbundpalette, welche die vertraglichen Rahmenbedingungen erfüllt, aus der Palettieranlage zu transportieren. Für die erfolgreiche Inbetriebnahme muss auch die Schulungszeit berücksichtigt werden, um die vertraglichen Rahmenbedingungen nach der Abnahme erfüllen zu können.

⁴⁵ Vgl. Jürgen Kletti, Jochen Schumacher (2014), S. 4 f.

⁴⁶ Vgl. Klaus H.Weber (2017), S. 5 f.

8.1 Inbetriebnahme eines Roboterpalettierers für Säcke

Die Einflussfaktoren der Lagenformung für die Inbetriebnahme eines Roboterpalettierers werden in der folgenden Grafik (Abbildung 54) dargestellt.

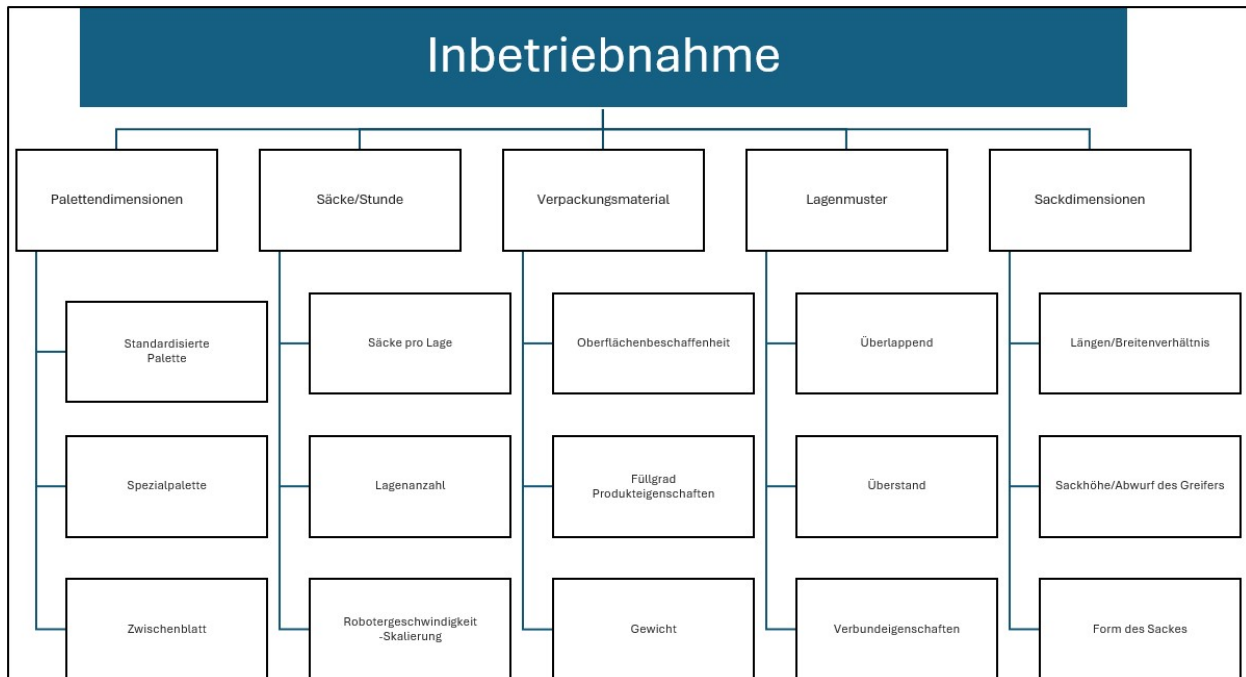


Abb. 54: Inbetriebnahme-Gelenkarmroboter: Quelle, Eigene Darstellung

Die fünf Hauptpunkte der Inbetriebnahme in Bezug auf die Lagenformung eines Gelenkarmroboters können in Palettendimension, Leistung (Säcke/Stunde), Verpackungsmaterial, Lagenmuster und Sackdimensionen unterteilt werden. Jeder dieser Hauptpunkte ist wiederum von kleineren Unterpunkten abhängig.

Palettendimensionen:

Abhängig vom Produktionsstandort, firmenspezifischen Vorgaben und selbst konstruierten Spezialpaletten können die Dimensionen der Palettengrößen stark variieren. Daher ist es umso wichtiger, bei der Inbetriebnahme darauf zu achten, dass bei der Palettierung die verschiedenen Palettengrößen den richtigen Sackdimensionen bereits zugeordnet werden. Dadurch kann ein Suchen der notwendigen Verpackungsgrößen für die unterschiedlichen Palettentypen verhindert werden. Auch die Verwendung von Zwischenblättern innerhalb der Lagen ist ein weitverbreitetes System, um die Palettenstabilität während des nachfolgenden Transports zu erhöhen.

Verpackungsmaterial:

Das Verpackungsmaterial hat einen Einfluss auf das Rutschverhalten der palettieren Säcke. Vor allem spielen hier die Abwurfhöhe und die Verteilung des verpackten Materials eine Rolle. Dadurch kann es notwendig werden, Säcke von der idealen Wurfposition abzuweichen, wodurch sie im Programm asymmetrische Positionen und unterschiedliche Sackabstände auf der Palette erhalten. Ist zudem der Füllgrad der Säcke deutlich zu gering, kann es dazu kommen, dass die Säcke erst auf der Palette die überschüssige Luft verlieren, was dazu führt, dass sich die Palette zu setzen beginnt. Die überschüssige

Luft kann jedoch nur durch eine Folienperforierung bei verschweißten Säcken oder durch die Nähte bei Gewebesäcken oder Papiersäcken entweichen.

Lagenmuster:

Bei der Wahl des Lagenmusters muss grundsätzlich ein guter Verbund gewährleistet sein, um das Verrutschen der Säcke während des weiteren Transports zu verhindern. Die mechanischen Grenzen des Gelenkarmroboter spielen hierbei ebenfalls eine wesentliche Rolle, um alle Positionen anfahren zu können. Auch die Ausrichtung der Säcke, ob der Sackboden oder der Sackkopf innerhalb oder außerhalb der Palette liegt, ist von Bedeutung. Oftmals wird das Lagenmuster abwechselnd in gespiegelter und nicht gespiegelter Form palettiert, um einen stabilen Verbund zu erhalten.

Sackdimensionen:

Das Verhältnis zwischen Sacklänge und Sackbreite legt grundsätzlich ein bevorzugtes Lagenmuster fest. Es kann jedoch zu Verschiebungen im Lagenmuster kommen, wenn die Palettendimensionen für dieses Lagenmuster nicht geeignet sind.

Säcke/Stunde:

Am Ende der Inbetriebnahme werden die Geschwindigkeitsoptimierungen des funktionierenden Prozesses durchgeführt. Um dies zu erreichen, werden Rampen und Rotationsgeschwindigkeiten der einzelnen Achsen erhöht, wobei darauf geachtet wird, dass die Palette noch stabil aus der Anlage transportiert werden kann.

Durch diese Abhängigkeiten ergeben sich nun folgende zeitliche Komponenten für die Inbetriebnahme. Dabei ist anzunehmen, dass bei der Firma Statec-Binder GmbH bereits eine grafische Darstellung für die Positionierung der Säcke auf der Palette vorhanden ist.

Inbetriebnahmezeit eines Roboters:

Es muss sichergestellt werden, dass sich der Sack mittig im Robotergreifer befindet, damit die Zielkoordinaten auf der Palette möglichst mit dem grafischen digitalen Abbild übereinstimmen. Diese Sackzentrierung benötigt im Durchschnitt fünf Versuche bis der Sack möglichst genau in Mitte des Greifers befindet, was etwa 10 Minuten in Anspruch nimmt. Anschließend muss das Lagenmuster, das bereits grafisch dargestellt ist, noch feinjustiert werden, um die Stabilität der Palette zu garantieren. Dies benötigt etwa eine Stunde. Die Skalierung der Geschwindigkeit, soweit es mechanisch möglich ist, kann innerhalb 10 Minuten durchgeführt werden. Für die Schulung des Gelenkarmroboters hinsichtlich der Lagenformung ist für fachkundiges Personal eine Zeit von 2,5 Stunden zu berücksichtigen. Daher ergibt sich eine Inbetriebnahmezeit inklusiver Schulung für die Lagenformung eines Produkts mit einer spezifischen Palettengröße von etwa 230 Minuten.

Aspekt	Zeitaufwand	Erläuterung
Zentrierung des Sacks im Robotergreifer	10 Minuten (5 Versuche)	Zeit für das genaue Zentrieren des eines Sackst im Greifer.
Feinjustierung des Lagenmusters	1 Stunde	Anpassung des Lagenmusters für die Stabilität der Palette.
Skalierung der Geschwindigkeit	10 Minuten	Anpassung der Geschwindigkeit, soweit mechanisch möglich.
Schulung des Gelenkarmroboters	2,5 Stunden	Schulung für fachkundiges Personal zur Lagenformung.
Gesamte Inbetriebnahmezeit inkl. Schulung	230 Minuten	Gesamtzeit für die Inbetriebnahme eines Produktes einschließlich Schulung.

Tabelle 1: Inbetriebnahmezeit Roboter, Quelle: Eigene Darstellung

8.2 Inbetriebnahme eines Hochlagenpalettierers

Die Inbetriebnahme eines Hochlagenpalettierers hat grundsätzlich die gleichen Haupteinflussfaktoren wie zuvor beim Roboterpalettierer aufgezeigt.

Auch bei der Inbetriebnahme eines Hochlagenpalettierers sind die fünf Hauptpunkte Palettendimension, Leistung (Säcke/Stunde), Verpackungsmaterial, Lagenmuster und Sackdimensionen relevant. Allerdings sind die Abhängigkeiten durch den konstruktiven Unterschied zwischen Roboterpalettierer und Hochlagenpalettierer geändert.

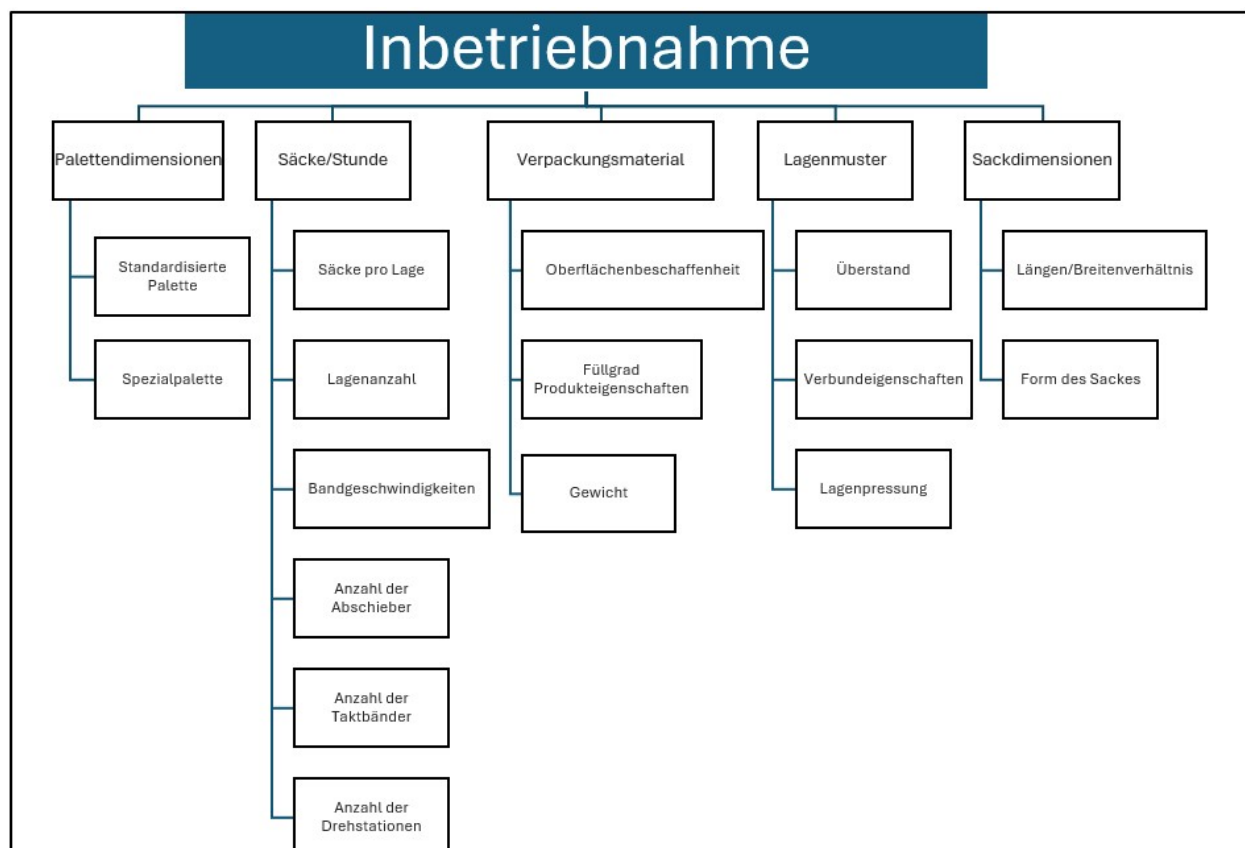


Abb. 55: Inbetriebnahme-Hochlagenpalettierer, Quelle: Eigene Darstellung

Vor allem die Abhängigkeiten für das Lagenmuster und die Leistung, gemessen in Säcken pro Stunde, haben sich deutlich verändert.

Lagenmuster:

Das Lagenmuster, das zuvor über eine Drehstation ([Kapitel 5.1.1](#)), ein Lagenformband ([Kapitel 5.1.2](#)) und den Abschieber ([Kapitel 5.1.3](#)) geformt wird, kann zusätzlich durch die seitlichen und den hinteren Schieber angepasst werden. Dadurch werden die Säcke ohne Überlappung und bereits vorgeformt, auf die Palette palettiert werden. Dies verhindert größtenteils das Verrutschen der Säcke beim Öffnen der Ladeplatte. Die Lage kann nach dem Palettieren zusätzlich gepresst werden. Dabei fährt der Hubtisch gegen die Entladeplatte oder einen Presszylinder, um die Restluft im Sack zu minimieren und eine weitere Homogenisierung der Säcke durch gleichmäßige Verteilung des Materials im Sack zu erreichen. So kann die nächste Lage auf eine möglichst flache Ebene palettiert werden. All diese Faktoren wirken sich auf die Inbetriebnahmezeit des Abschiebevorganges aus.

Säcke/Stunde:

Die Leistung (Säcke/Stunde) wird hier durch die Bandgeschwindigkeiten, Abschiebegeschwindigkeiten und der Drehstation bestimmt und umgesetzt. Für die Skalierbarkeit und schnelle Anpassung der Ausgangsleistung müssen Motorgeschwindigkeiten, Verzögerungszeiten und Positionierzeiten angepasst werden, um das bestehende Lagenbild bei höherer Leistung beizubehalten. Ohne grafische Lagenbildung und deren Umrechnungen muss jeder Sack einer Lage mehrmals positioniert werden, bis die Rampen und Motorgeschwindigkeiten zusammenpassen.

Inbetriebnahmezeit ohne grafische Darstellung:

Die Inbetriebnahmezeit für die Zentrierung des Sacks in der Drehstation kann mit 10 Minuten pro Sackdimension angenommen werden. Die Inbetriebnahmezeit für das Positionieren eines Sacks am Lagenformband beträgt etwa 6 Minuten. Oftmals sind 5 Versuche nötig, bis der Sack die richtige Position auf dem Lagenformband erreicht hat. Als Referenzwert wurde eine Fünfer-Lage angenommen, was eine Zeit von 2 Stunden und 30 Minuten für die Positionierung am Lagenformband ergibt. Der Abschiebevorgang und die anschließende Einstellung des Lagenmusters durch die Schieber und der Lagenpressung wurden mit 30 Minuten gemessen. Der Schulungsaufwand zum Verständnis der Abhängigkeiten für die Lagenformung wurde mit 6 Stunden angesetzt. Insgesamt ergibt sich somit eine Inbetriebnahmezeit von 550 Minuten für die Lagenformung. Wird die Leistung durch Anpassung der Bandfördergeschwindigkeiten verändert, so ist eine zusätzliche Inbetriebnahmezeit von 60 Minuten erforderlich.

Aspekt	Zeitaufwand	Erläuterung
Zentrierung des Sacks in der Drehstation	10 Minuten pro Sackdimension	Zeit für das Zentrieren des Sacks in der Drehstation.
Positionierung des Sacks am Lagenformband	6 Minuten	Zeit für das Positionieren eines Sacks am Lagenformband.
Versuche für die Positionierung	5 Versuche (2 Stunden 30 Minuten insgesamt)	Anzahl der Versuche und die Gesamtzeit für das Positionieren des Sacks.
Abschiebevorgang und Lagenmuster-Einstellung	30 Minuten	Zeit für den Abschiebevorgang und das Einstellen des Lagenmusters.
Schulung der Abhängigkeiten für Lagenformung	6 Stunden	Zeitaufwand für die Schulung des Personals zur Lagenformung.
Zusätzliche Inbetriebnahmezeit (bei Anpassung der Bandfördergeschwindigkeit)	60 Minuten	Zeit für die Anpassung der Bandfördergeschwindigkeit.
Gesamte Inbetriebnahmezeit ohne grafische Darstellung	550 Minuten	Gesamtzeit für die Inbetriebnahme ohne grafische Darstellung.

Tabelle 2: Inbetriebnahmezeit ohne grafische Darstellung, Quelle: Eigene Darstellung

Inbetriebnahmezeit mit grafischer Darstellung:

Der größte Nutzen einer grafischen Darstellung liegt sowohl in einem vereinfachten Verständnis der Lagenformung am Lagenformband als auch in der Reduzierung der Schulungszeit. Die Anzahl der erforderlichen Versuche pro Sack kann von etwa 5 auf 3 reduziert werden und die Inbetriebnahmezeit pro Sack, der korrekt auf dem Lagenformband positioniert wurde, kann auf 3 Minuten gesenkt werden. Die Schulung kann auf 4 Stunden gekürzt werden. Der Abschiebevorgang würde sich nicht verändern hinsichtlich der Inbetriebnahmezeit. Für die Erreichung der Zentrierzeit der Säcke in der Drehstation kann ein Zeitraum von 5 Minuten veranschlagt werden. Daher ergibt sich eine neue optimierte Inbetriebnahmezeit von 320 Minuten inklusive Schulung.

Eine Anpassung der Bandfördergeschwindigkeit kann mit 20 Minuten für Anpassungen berücksichtigt werden, aufgrund der automatischen Positionsberechnung.

Aspekt	Zeitaufwand	Erläuterung
Zentrierung des Sacks in der Drehstation	5 Minuten	Zeit für das Zentrieren des Sacks in der Drehstation.
Positionierung des Sacks am Lagenformband	3 Minuten	Zeit für das Positionieren des Sacks am Lagenformband.
Reduzierte Versuche für die Positionierung	3 Versuche (Gesamtzeit: 9 Minuten)	Anzahl der Versuche für das korrekte Positionieren des Sacks.
Abschiebevorgang und Lagenmuster-Einstellung	Keine Änderung (30 Minuten)	Zeit für den Abschiebevorgang bleibt gleich.
Schulung der Abhängigkeiten für Lagenformung	4 Stunden	Reduzierte Zeit für die Schulung des Personals.
Zusätzliche Inbetriebnahmezeit (bei Anpassung der Bandfördergeschwindigkeit)	20 Minuten	Zeit für die Anpassung der Bandfördergeschwindigkeit.
Gesamte Inbetriebnahmezeit mit grafischer Darstellung	320 Minuten	Gesamtzeit für die Inbetriebnahme einschließlich Schulung und Anpassungen.

Tabelle 3: Inbetriebnahmezeit mit grafischer Darstellung, Quelle: Eigene Darstellung

8.3 Inbetriebnahmestunden für die grafische Darstellung des Hochlagenpalettierers

Durch die Implementierung einer grafischen Darstellung und die damit verbundene automatische Ausrichtung der Säcke über die Variabilität der Bandgeschwindigkeiten ergeben sich die folgenden Kostenträger.

Konzepterstellung:

Die Erstellung der automatischen Ansätze wurde mit einem Aufwand von 120 Stunden veranschlagt. Dabei wurde auch die mathematische Grundlage implementiert.

SPS-Programmierung:

Die Überführung einer mathematischen Grundlage in ein SPS-Programm kann mit 120 Stunden bewertet werden.

Versuchsreihe:

Die Auswertung zwischen Theorie und Praxis sowie die dafür notwendigen Korrekturen sind mit 60 Stunden anzusetzen.

Zeitliche-Ersparnis:

Eine zeitliche Ersparnis zwischen der grafischen Lagenformung und der herkömmlichen Lagenformung wurde mit 3 Stunden und 45 Minuten beziffert, bezogen auf die Erstellung eines Sackformats und der dazugehörigen Palettendimension.

Durchschnittliche Sackanzahl pro Lage und durchschnittliche Anzahl an Lagenmustern pro Anlage:

Die beiden Kennzahlen wurden durch eine Mittelwertberechnung aus bereits vergangenen Projekten der Firma Statec-Binder GmbH ermittelt. Dafür wurden fünf Stichproben-Anlagen herangezogen und daraus der Mittelwert berechnet. Dabei ergab sich eine durchschnittliche Anzahl von 4,67 Säcken pro Lage. Die Anzahl mit durchschnittlichen Lagenmustern und der dazugehörigen Palette wurde mit 4,5 Lagenmustern berechnet.

Amortisationszeit der grafischen Lagenformung:

Die Investitionskosten setzen sich aus der Konzepterstellung, der SPS-Programmierung und der Versuchsreihe zusammen. Dies ergibt eine Investition von 350 Stunden. Unabhängige Zeiten für die grafische Lagenformung, ohne Berücksichtigung der Sackanzahl pro Lage und der Anzahl der Lagenmuster, wurden mit 4 Stunden Schulung, 1 Minute Zentrierung und 30 Minuten Abschiebereinstellungen berechnet. Daher ergibt sich eine fixe Inbetriebnahmezeit pro verkaufte Anlage von 4,67 Stunden. Die fixe Inbetriebnahmezeit eines herkömmlichen Palettierers wurde mit 6 Stunden Schulung, 10 Minuten Zentrierzeit-Einstellungen und 30 Minuten für Abschiebereinstellungen berechnet. Die fixe Inbetriebnahmezeit eines herkömmlichen Palettierers ergibt 6,67 Stunden. Die variablen Inbetriebnahmezeiten des herkömmlichen Palettierversfahrens werden mit 10,51 Stunden berechnet, während die grafische Darstellung mit 3,15 Stunden berechnet wird.

$V_z = S_l * L_m * V_e * V_z$	(8.1)	V_z/h	Variable Inbetriebnahmezeit
		S_l	Durchschnittliche Säcke pro Lage pro Auftrag
		L_m	Durchschnittliche Lagenmuster pro Auftrag
		V_e	Anzahl der Versuche für genaue Positionierung
		V_z/h	Zeit für einen Versuch
$F_z = Z_z * A_z * S_z$	(8.2)	F_z/h	Fixe Inbetriebnahmezeit
		Z_z/h	Zentrierzeit-Einstellungen
		A_z/h	Abschiebeeinstellungen
		S_z	Schulungszeit
$G_z = (F_z + V_z)A + I_z$	(8.3)	G_z	Gesamt Inbetriebnahmezeit
		A	Anzahl der betrachteten Anlagen
		I_z/h	Investitionzeit

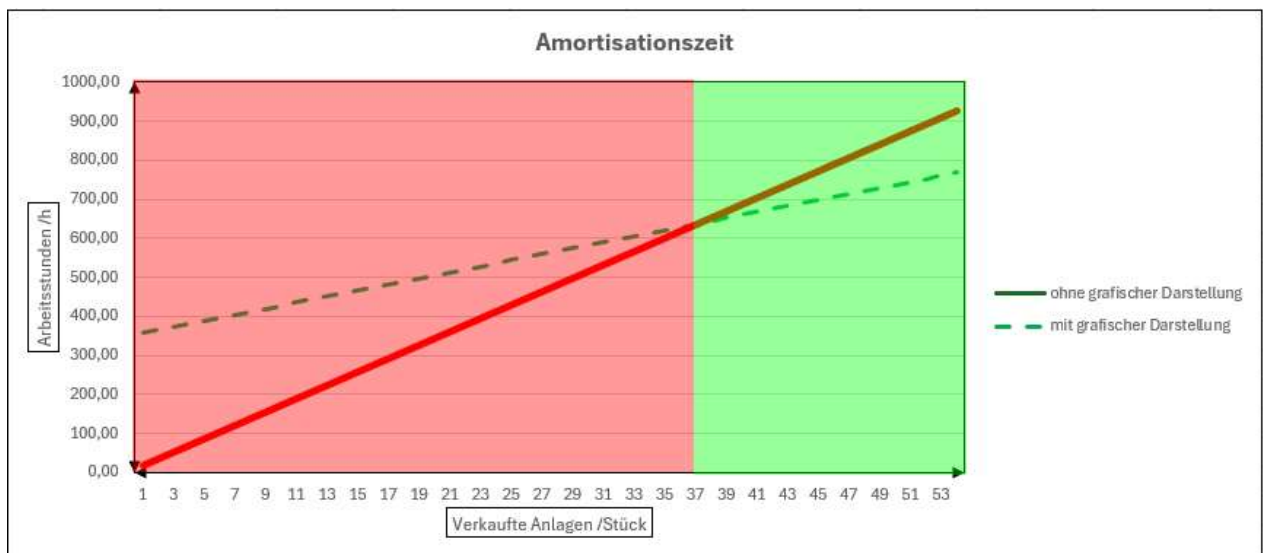


Abb. 56: Amortisationszeit der grafischen Darstellung, Quelle: Eigene Darstellung

Die grüne Linie repräsentiert die addierten Inbetriebnahmestunden für die steigende Anlagenzahl mit der Implementierung der grafischen Darstellung des Hochlagenpalettierers. Diese Inbetriebnahmestunden werden den Inbetriebnahmestunden, die in Blau dargestellt sind, ohne grafischer Darstellungsimpementierung gegenübergestellt. Die Investitionskosten der grafischen Darstellung wurden mit 350 Stunden für die erste Anlage berücksichtigt. Daraus ergibt sich eine positive Bilanz der Inbetriebnahmestunden ab der 37. Anlage.

8.4 Technologien für die grafische Darstellung des Hochlagenpalettierers

Um die Genauigkeit der Positionierung zu erhöhen, wäre der Einsatz neuer Technologien in der Antriebstechnik und Sensortechnik sowie die Minimierung durch Korrekturfaktoren zu berücksichtigen. Eine Umstellung der Antriebstechnologie, Senortechnologie und HMI-Darstellung sollte dabei in Betracht gezogen werden.

Antriebstechnik:

Ein Austausch der Asynchronmotoren und der zugehörigen Frequenzumrichter gegen Synchronmotoren mit Geberrückführung könnte das Positionieren von einer Zeitsteuerung auf eine Positionssteuerung umstellen. Dadurch wäre das System weniger abhängig von Rampenbeschleunigungen. Auch der Übergang zwischen Drehband und Lagenformband könnte mithilfe einer Kurvenscheibe angetrieben werden.

Sensortechnik:

Für die Zentrierung der Säcke können Lichtschranken eingesetzt werden, die einen kleineren Lichtfleck aufweisen. Für die Objekterkennung ist jedoch eine Lichtschranke notwendig, um nicht reflektierende Säcke, die sich im Farbspektrum von Dunkelblau bis Schwarz bewegen, noch erkennen zu können. Durch die Anbringung einer optischen Kamera zur Objektbestimmung kann eine 3D-Darstellung implementiert werden.

HMI:

Der Umbruch in der Verpackungsindustrie von klassischen HMIs, die noch keine Multitouch-Funktion aufweisen, zu neuen Multitouch-HMIs hat bereits begonnen. Mithilfe von Multitouch-HMIs und deren leistungsstärkeren grafischen Darstellungen können die Säcke bereits in 3D dargestellt werden, um dem Service-, Bediener- und Inbetriebnahmepersonal die Eingabe der Säcke zu erleichtern. Diese könnten ein Echtzeit-Feedback zur aktuellen Ausrichtung der Säcke zeigen.

Eine Umfrage, bei der die Teilnehmer ihre Entscheidung für die jeweilige Technologie auf einer Skala von 0 bis 100 Prozent angeben konnten, führte zu den folgenden Ergebnissen, die in der Tabelle dargestellt sind.

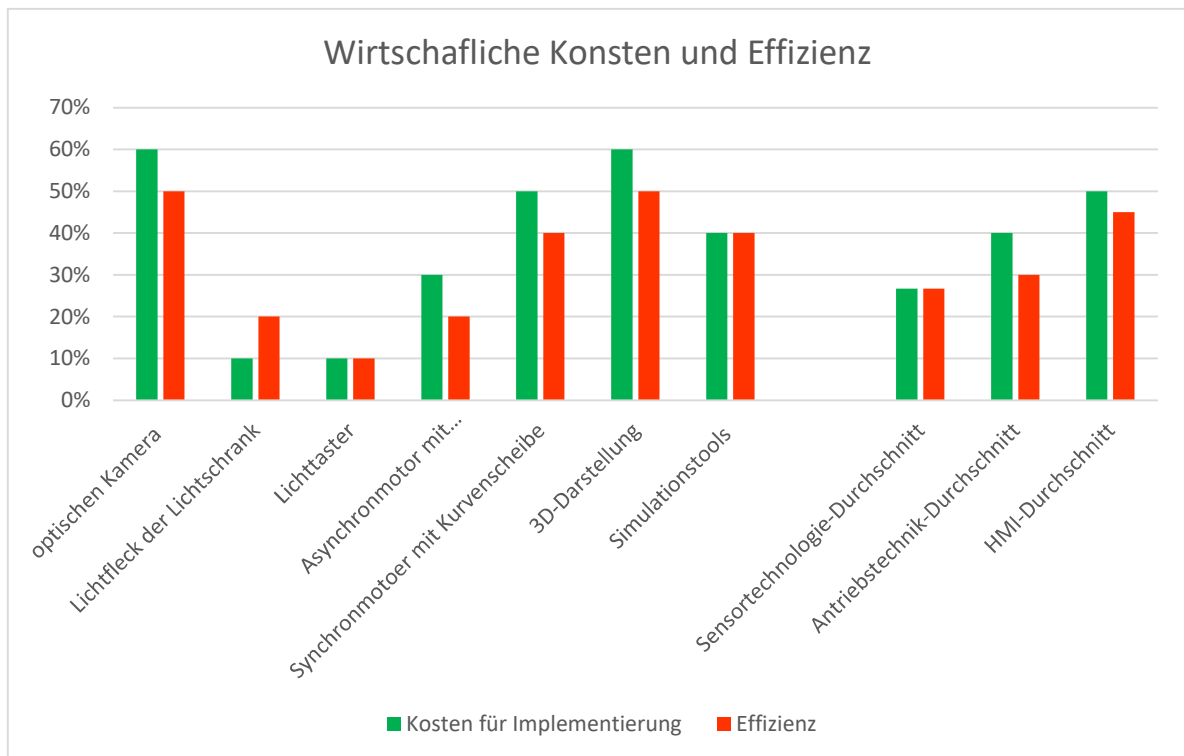


Abb. 57: Wirtschaftliche Kosten und Effizienz, Quelle: Eigene Darstellung

Die grafische Interpretation der Abbildung 57 lässt sich auf die individuelle Kostengestaltung und Effizienzgestaltung hinsichtlich der Inbetriebnahme zurückführen. Daraus wird ersichtlich, dass das größte durchschnittliche Effizienzpotenzial in der HMI steckt.

Die Sensortechnologie für die Inbetriebnahme eines Hochlagenpalettierers wird wohl nicht mehr signifikant verbessert werden können mit den bekannten Methoden. Ein großer Teil des Potenzials liegt noch in der Objekterkennung, jedoch steht dieser Mehrwert einem kostenintensiven Implementierungsverfahren entgegen. Die Einbindung einer optischen Kamera in den derzeitigen Ablauf ist sowohl mechanisch als auch programmtechnisch komplex, insbesondere bei der Handhabung der verschiedenen Lagenmuster und deren Einsatzumgebungen. Hochlagenpalettierer werden in offenen Hallen bis hin zu staubfreien und EX-geschützten Zonen eingesetzt. Dadurch kann einerseits die Linse der Kamera verstauben und andererseits kann es sein, dass sie keine EX-Zulassung hat.

Die Antriebstechnologie bietet einerseits die Möglichkeit, den bestehenden Asynchronmotor mithilfe eines externen Gebers auszustatten und diesen nahezu wie einen Servomotor zu betreiben. Für die grafische Lagenbildung könnte dieser Ansatz bei langsamen Bandgeschwindigkeiten einen technologischen Vorteil haben. Jedoch können bei hohen Geschwindigkeiten die Rampenfunktionen der Motoren in Kombination mit dem Frequenzumrichter nicht vollständig bestimmt werden. Der Servomotor bietet durch die genaue Bestimmung der Rampen einen Mehrwert, weshalb hier eine höhere technische Effizienz bei schnelleren Bandgeschwindigkeiten besteht.

Die Variabilität der zukünftigen HMIs erlaubt es dem Bedienpersonal, mehr Feedback von der Anlage zu erhalten. Einerseits kann die Darstellung auf das Notwendigste zusammengestellt werden, andererseits können detailreiche Ausschnitte für den Prozess vorab simuliert oder dargestellt werden.

9 ERGEBNIS UND AUSBLICK

Der Palettierprozess eines Hochlagenpalettierers ist ein etabliertes System, das bereits alle notwendigen Komponenten für eine erfolgreiche Inbetriebnahme beinhaltet. Eine Umsetzung mit einem höheren Automatisierungsgrad kann sowohl firmenintern als auch firmenextern Fortschritte in Bezug auf Effizienz und Zeitersparnis bieten. Durch den Einsatz automatisierter Ansätze kann zudem der Prozess der Ferninbetriebnahme erheblich vereinfacht werden. Jedoch ist eine präzise Vorinbetriebnahme notwendig, in der maschinenspezifische Parameter anhand der kundenspezifischen Vorgaben korrekt definiert werden. Dazu zählen die genaue Bandgeschwindigkeit, die Getriebeübersetzung und die Anpassung des Trommeldurchmessers des Bandes. Ebenso ist die Wahl des richtigen Korrekturfaktors oder eine erneute Aufzeichnung des Korrekturfaktors erforderlich, falls keine Daten vorliegen.

9.1 Vergleich herkömmliches System mit neuem System

Der Vergleich zwischen den herkömmlichen Systemen und dem entwickelten System kann Schwächen aufzeigen, die durch zusätzliche Komponenten behoben werden können.

Überwachungszeit für Sackvereinzelung:

Die Versuchsreihe, die zuvor mehrere Säcke benötigte, konnte mit dem neuen Ansatz der automatischen Berechnung nicht auf einen Sack reduziert werden. Dies liegt daran, dass die Sensorpositionen zur Detektion des Sackes nicht immer identisch sind. Daher muss der Sicherheitsfaktor entsprechend angepasst werden ([siehe Kapitel 6.2](#)).

Zentrierzeit:

Bei höheren Leistungen, bei denen sich die Zentrierzeit auf rund 100 Millisekunden reduziert, da die Sensorposition nicht mittig zur Drehstation liegt, muss die Schließverzögerung der Klappensteuerung angepasst werden. Dies ermöglicht eine sofortige Drehung des Sackes ohne zusätzliche Verzögerungszeit. Es kann jedoch vorkommen, dass die Klemmung der Drehstation bereits geschlossen ist, bevor die Sackzentrierzeit vollständig abgelaufen ist. Dieses Problem tritt auf, wenn die Klemmung der Drehstation und die Zentrierzeit gleichzeitig abgeschlossen sein sollen, um Wartezeiten zu vermeiden. In solchen Fällen muss die Wartezeit für das Schließen der Klemmung mindestens der Zentrierzeit entsprechen.

Verzögerndes Starten und Positionieren am Lagenformband:

Das bereits vorhandene System zeigte trotz gleichbleibender Verzögerungs- und Positionierzeiten leichte Abweichungen in der Positionierung der Säcke auf dem Lagenformband. Besonders bei höheren Bandgeschwindigkeiten traten diese Unterschiede deutlich auf, wobei Positionierungsabweichungen von plus/minus 2 Zentimetern festgestellt wurden. Dieses Problem tritt auch bei der automatischen Positionierung auf, da hier die Zykluszeit der SPS sowie Probleme mit dem Leuchtfleck des Sensors eine Rolle spielen.

Die Korrekturkurve kann sich im Laufe der Lebensdauer des Bandes leicht verändern, da sich der Reibwert durch Ablagerungen auf dem Fördergurt und die Abnutzung des Fördergurtes verändert. Daher können die Säcke auf dem Lagenformband in Zusammenspiel mit der grafischen Positionierung eine deutlichere

Abweichung zwischen Ist- und Soll-Position zeigen. Dennoch ermöglicht die einfache Handhabung der Bedienung eine unkomplizierte Anpassung durch externe Firmen. Zudem kann der Abnutzungsgrad des Fördergurtes auf diese Weise dokumentiert werden.

Zentrierzeit am Hubtisch

Durch den Einsatz der automatischen Berechnung kann die Zentrierzeit bereits beim ersten Versuch korrekt definiert werden. Aufgrund des Eigengewichts der Leerpalette und der geringen Transportgeschwindigkeit konnten beim Einsatz von Holzpaletten keine Rutschfaktoren festgestellt werden.

Grafische Darstellung:

Die grafische Darstellung wurde als Zusatznutzen für das vorhandene Programm entwickelt und bietet im Vergleich zur tabellarischen Darstellung der Verzögerungs- und Positionierzeiten erhebliche Vorteile für die Visualisierung der Säcke auf dem Lagenformband. Einerseits können durch Umrüstmöglichkeiten veraltete Programmstrukturen auf neue Versionen aktualisiert werden, andererseits dient die grafische Darstellung als Basis für zukünftige Erweiterungskonzepte.

9.2 Zukünftige Weiterentwicklungen

Durch die Implementierung einer grafischen Lagendarstellung kann einerseits auf den Verschleiß der verwendeten Fördergurte rückgeschlossen werden. Andererseits ermöglicht eine variable Bandfördergeschwindigkeit eine flexible Anpassung der Outputleistung des Hochlagenpalettierers.

Verschleiß von Fördergurte:

Der Verschleiß von Fördergurten kann viele unterschiedliche Umwelteinflüsse haben, dazu zählen unter anderem Staub, Ablagerungen von Klebstoff bis hin zu Abreibung durch den Kontakt mit dem Sackmaterial.



Abb. 58: Gurtabnutzung, Quelle: Eigene Darstellung

Die beschädigten Gurte haben einen Einfluss auf die Positionierung der Säcke auf dem Lagenformband, da sich die Rutscheigenschaften im Laufe des Lebenszyklus ständig verändern. Der Fördergurt, der in Abbildung 58 dargestellt ist, hat bereits das Ende seiner Lebenszeit deutlich überschritten und kann jederzeit zum Stillstand der Maschine führen. Daher ist es durch die grafische Lagenformung möglich, einen Unterschied zwischen der dargestellten grafischen Darstellung und der tatsächlichen physikalischen

Gegebenheit zu erkennen. Weichen die Positionen zu weit voneinander ab, kann davon ausgegangen werden, dass sich der Reibwert zwischen Sackmaterial und der Lauffläche des Gurtes zwischen der Erstinbetriebnahme und den veränderten Gegebenheiten geändert hat. Durch die Aufzeichnung dieser Werte, bei denen sich die Positionen signifikant verändert haben, kann ermittelt werden, ab wann ein Gurt für die Positionierung ausgetauscht werden sollte.

Automatische Regulierung der Ausgangsleistung:

Vertragliche Rahmenbedingungen für die erforderliche Ausgangsleistung eines Hochlagenpalettierers werden in Säcken pro Stunde angegeben. Da es häufig zu einer Diskrepanz zwischen der Designleistung und der garantierten Leistung kommt, wird während der Inbetriebnahme versucht, die Designleistung zu erreichen. Dafür werden die Bandgeschwindigkeiten so hoch wie möglich gehalten. Normalerweise bewegen sich diese Geschwindigkeiten im Bereich von 40 bis 65 Metern pro Minute. Zu Beginn der Inbetriebnahme werden sie oft bewusst hoch angesetzt, um später keine Anpassungen an der Lagenformung vornehmen zu müssen und die vertraglich vereinbarte Leistung sicherzustellen. Ist die Bandgeschwindigkeit jedoch dauerhaft zu hoch, treten schneller mechanische Abnutzungserscheinungen an Motor und Gurtförderer auf, da diese einer höheren Belastung ausgesetzt sind. Zudem führt die erhöhte Belastung nicht nur zu einem höheren Verschleiß der mechanischen Komponenten, sondern auch zu einem gesteigerten Energieverbrauch des Hochlagenpalettierers im Vergleich zu niedrigeren Bandgeschwindigkeiten.

Durch den Einsatz der automatischen Berechnung von Positionierzeiten und Verzögerungszeiten ist es möglich, die Bandgeschwindigkeit variabel zu gestalten. Dadurch kann die Bandgeschwindigkeit auf das Optimum zwischen der zugeführten Sackanzahl pro Stunde und der möglichen palettierten Sackanzahl pro Stunde eingestellt werden.

Einsatz durch KI und optische Kameras:

Der Einsatz einer KI in Kombination mit einer optischen Kamera und einem Industrie-PC für die Lagenformung eines Hochlagenpalettierers bietet zahlreiche Vorteile und stellt eine vielversprechende Zukunftslösung dar.

Durch die Integration einer optischen Kamera können präzise Informationen über die Position, Ausrichtung und den Zustand der zu palettierenden Säcke oder Kartons in Echtzeit erfasst werden. Korrekturfaktoren für die einzelnen Positionierzeiten könnten durch eine grafische Datensammlung automatisch angepasst werden. Eine KI analysiert diese Daten und steuert die Lagenformung entsprechend, wodurch eine optimale Platzierung und Stapelqualität sichergestellt wird. Dies kann die Präzision und Effizienz des gesamten Prozesses erheblich verbessern.

Ein weiterer Vorteil ist die Flexibilität der KI, da sie trainiert werden kann, verschiedene Produktarten, Größen und Formen zu erkennen. Basierend auf diesen Daten kann die KI das optimale Lagenmuster berechnen und so eine individuelle Anpassung an unterschiedliche Anforderungen ermöglichen.

Die Preisspanne von KI-Kameras reicht von einigen hundert Euro bis zu mehreren tausend Euro. Die schnelllebige Entwicklung dieser Produkte macht eine genaue Preisbestimmung schwierig.

LITERATURVERZEICHNIS

Gedruckte Werke (11)

Alfred Böge, Wolfgang Böge (2017): Handbuch Maschinenbau: Grundlagen und Anwendungen der Maschinenbau-Technik Auflage 23

Springerverlag, Fachmedien Wiesbaden

Berthold Heinrich, Petra Linke, Michael Glöckler (2017): Grundlagen Automatisierung: Sensorik, Regelung, Steuerung, Auflage 2

Springerverlag, Fachmedien Wiesbaden GmbH

Daniel Anton Paul Oswald (2023): Leersackerkennung, Bachelorarbeit

Campus02 Fachhochschule-Bachelorstudiengang Automatisierungstechnik

Dr. Peter Hilger (1965): Paletten Beförderungsbedingungen, Einsatzbereiche, Umschlagsgeräte

Springerverlag, Fachmedien Wiesbaden

Gerhard Schnell, Bernhard Wiedemann (Hrsg.) (2018): Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik: Grundlagen, Systeme und Anwendungen der industriellen Kommunikation 9. Auflage

Springerverlag, Fachmedien Wiesbaden GmbH

Günter Wellenreuther, Dieter Zastrow (2011): Automatisieren mit SPS-Theorie und Praxis, 5. Auflage

Springerverlag, Fachmedien Wiesbaden GmbH

Heinrich Martin (2016): Transport- und Lagerlogistik: Systematik, Planung, Einsatz und Wirtschaftlichkeit, Auflage 10

Springerverlag, Fachmedien Wiesbaden

Heinrich Martin (2021): Technische Transport- und Lagerlogistik

Springerverlag, Fachmedien Wiesbaden

Helmut Wannewetsch (2010): Integrierte Materialwirtschaft und Logistik, Auflage 4

Springerverlag, Heidelberg Dordrecht London New York

Jürgen Kletti, Jochen Schumacher (2014): Die perfekte Produktion: Manufacturing Excellence durch

Short Interval Technology (SIT), 2. Auflage

Springerverlag, Berlin Heidelberg

Klaus H. Weber (2016): Inbetriebnahmeverfahren technischer Anlagen: Praxishandbuch mit Checklisten und Beispielen, 4. Auflage

Springerverlag, Berlin Heidelberg

Online-Quellen (11)

Aloysius Krenzer GmbH & Co. KG

<https://www.krenzer-paletten.de/de/beitrag/welche-palettenarten-gibt-es.html>

MM Engineering GmbH

<https://www.mm-engineering.com/de/products/kleinfoerderbaender/gurtfoerderer/kleinfoerderbaender-sonderoptionen/keilleiste.html>

IFM electronic GmbH (2023): Optischer Abstandssensor O1D100

<https://www.ifm.com/de/de/product/O1D100#details>

SEW-EURODRIVE (2024)

<https://www.sew->

eurodrive.at/produkte/motoren/drehstrommotoren/drehstrommotoren_asynchronmotoren.html

https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/16826809_G06.pdf

SEW-Eurodrive(2006): Praxis der Antriebstechnik Heft 09-2006

<https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11322802.pdf>

SEW-Eurodrive(2006): Movidrive MDX60B / 61B Applikation Modulo-Positionierung Ausgabe 08-2006

<https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11349204.pdf>

Das Fraunhofer-Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme IMS

<https://www.ims.fraunhofer.de/de/Geschaeftsfelder/CMOS-Image-Sensors/Technologien/ToF-Sensoren.html>

SEW-Eurodrive(2007): Handbuch: Feldbusschnittstelle DFE32B Profnet IO Ausgabe 09-2007

<https://download.sew-eurodrive.com/download/pdf/11614218.pdf>

SIEMENS (2023): Funktionshandbuch: Simatic S7-1500, S7-1500R/H, ET 200SP, ET 200pro Ausgabe 11-2023

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/558/59193558/att_895995/v2/s71500_cycle_and_reaction_times_function_manual_de-DE_de-DE.pdf

SIEMENS (2014): Betrieb von Drehstrommotoren mit Drehzahlen oberhalb der Nenndrehzahl Ausgabe 01-2014

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/130/25338130/att_7154/v1/25338130_betrieb_von_motoren_mit_hoeheren_frequenzen_v2_1_de.pdf

SIEMENS (2024): IO-Link System Funktionshandbuch 05/2024 A5E31637050-AD

https://cache.industry.siemens.com/dl/files/252/65949252/att_95486/v2/io_link_system_function_manual_de-DE_de-DE.pdf

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1: Hochlagenpalettierer im Verpackungsprozess, Quelle: Eigene Darstellung	4
Abb. 2: Gebinde-Vollsack, Quelle: Eigene Darstellung	6
Abb. 3: Vollpalette, Quelle: Eigene Darstellung	7
Abb. 4: Palettenstapelung, Quelle: Heinrich Martin (2016)	8
Abb. 5: Lagenmuster-Palette, Quelle: Eigene Darstellung	9
Abb. 6: Gebindezuförderung, Quelle: Eigene Darstellung	12
Abb. 7: Stetigförderer-Pressband, Quelle: Eigene Darstellung	13
Abb. 8: Taktband, Quelle: Eigene Darstellung	14
Abb. 9: Drehstation, Quelle: Eigene Darstellung	15
Abb. 10: Drehklappen, Quelle: Eigene Darstellung	16
Abb. 11: Lageformband, Quelle: Eigene Darstellung	17
Abb. 12: Abschieber-Entladeplatte, Quelle: Eigene Darstellung	18
Abb. 13: Lagenabschieber, Quelle: Eigene Darstellung	19
Abb. 14: Schieber, Quelle: Eigene Darstellung	19
Abb. 15: Palettenfördertechnik, Quelle: Eigene Darstellung	20
Abb. 16: Typenschild Asynchronmotor, Quelle: Eigene Darstellung	22
Abb. 17: Gegenüberstellung von Feldschwächebetrieb zu 87Hz-Kennlinie, Quelle: Online-Quelle[11.11.2024]	23
Abb. 18: Reflexionslichttaster, Quelle: Vgl. Berthold Heinrich, Petra Linke, Michael Glöckler	25
Abb. 19: Abstandssensor, Quelle: Online-Quelle [04.11.2024]	26
Abb. 20: Induktiver Näherungsschalter, Quelle: Vgl. Berthold Heinrich, Petra Linke, Michael Glöckler....	26
Abb. 21: Hardware-Topologie-Lagenformung, Quelle: Eigene Darstellung	28
Abb. 22: Sackstaubband, Quelle: Eigene Darstellung	30
Abb. 23: Lichtschranke Sackvereinzlung	30
Abb. 24: Drehstation-Sackzentrierung, Quelle: Eigene Darstellung	32
Abb. 25: Zentrierzeitberechnung, Quelle: Eigene Darstellung	32
Abb. 26: Sensorposition-Drehstation, Quelle: Eigene Darstellung	34
Abb. 27: Klemmbreitenverstellung, Quelle: Eigene Darstellung	35
Abb. 28: Übergang Drehband-Lagenformband, Quelle: Eigene Darstellung	36
Abb. 29: Verzögerungszeit und Positionierzeit, Quelle: Eigene Darstellung	36

Abb. 30: Verzögerungszeit-Positionierzeit-Abstand, Quelle, Eigene Darstellung	38
Abb. 31: Letzter Sack der Lagenformung, Quelle: Eigene Darstellung	39
Abb. 32: Extra Positionierzeit für letzter Sack, Quelle Eigene Darstellung	39
Abb. 33: Lagenabschieber Positionen, Quelle: Eigene Darstellung	40
Abb. 34: Lagenabschieber Grafisch, Quelle: Eigene Darstellung	41
Abb. 35: Grafik Vollpalette HMI, Quelle: Eigene Darstellung	42
Abb. 36: Kreuzlichtschranke-Hubtisch, Quelle: Eigene Darstellung	43
Abb. 37: Palettenzentrierzeit, Quelle Eigene Darstellung	44
Abb. 38: Versuchsaufbau Lagenformband, Quelle: Eigene Darstellung.....	45
Abb. 39: Rutschversuchsstand, Quelle: Eigene Darstellung.....	46
Abb. 40: Grafische Darstellung Lagenformband, Quelle: Eigene Darstellung	52
Abb. 41: Messwert am Frequenzumrichter, Quelle: Eigene Darstellung	54
Abb. 42: Messwert in der SPS, Quelle: Eigene Darstellung	55
Abb. 43 Drehzahlabweichung, Quelle: Eigene Darstellung	55
Abb. 44: Abstandsmessung-Rutscheigenschaft, Quelle: Eigene Darstellung	56
Abb. 45: Rutschweg- Stoppen, Quelle: Eigene Darstellung.....	57
Abb. 46: Korrekturfaktor für Sackzentrierung	58
Abb. 47: Korrigierte Abweichung, Quelle: Eigene Darstellung.....	59
Abb. 48: Korrekturfaktor Positionierung, Quelle: Eigene Darstellung	59
Abb. 49: Leuchtfleck-Sensor, Quelle: Eigene Darstellung	60
Abb. 50: Prellen des Sensors, Quelle: Eigene Darstellung	61
Abb. 51: Positionstrace 15 Meter pro Minute, Quelle: Eigene Darstellung	62
Abb. 52: Abstand bei 5 Meter pro Minute, Quelle: Eigene Darstellung.....	63
Abb. 53: Abstand bei 65 Meter pro Minute, Quelle: Eigene Darstellung.....	63
Abb. 54: Inbetriebnahme-Gelenkarmroboter: Quelle, Eigene Darstellung.....	65
Abb. 55: Inbetriebnahme-Hochlagenpalettierer, Quelle: Eigene Darstellung	67
Abb. 56: Amortisationszeit der grafischen Darstellung, Quelle: Eigene Darstellung	71
Abb. 57: Wirtschaftliche Kosten und Effizienz, Quelle: Eigene Darstellung.....	73
Abb. 58: Gurtabnützung, Quelle: Eigene Darstellung	76

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

SPS Speicherprogrammierbare Steuerung

Abb Abbildung

HMI Human Machine Interface

FU Frequenzumrichter

DB Datenbaustein