

Integration einer automatisierten Verpackungsanlage von Bremssystemen

Hausarbeit Modul: Automationssysteme

Elektrotechnik

Automation

Duale Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg, Campus Friedrichshafen

von

Maximilian Zorko und Willi Schaal

| | |
|-----------------------|-------------------------|
| Abgabedatum: | 26.11.2025 |
| Bearbeitungszeitraum: | 16.10.2025 - 26.11.2025 |
| Matrikelnummer: | 3960407/5732737 |
| Kurs: | TEA 23 |
| Dozentin/ Dozent: | Heike Schatton-Beck |

Copyrightvermerk:

Dieses Werk einschließlich seiner Teile ist **urheberrechtlich geschützt**. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Erklärung

gemäß Ziffer 1.1.14 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017 in der Fassung vom 24.07.2023.

Wir versichern hiermit, dass wir unsere Hausarbeit mit dem Thema:

Integration einer automatisierten Verpackungsanlage von Bremssystemen

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt haben.

Friedrichshafen, den 26. November 2025

Maximilian Zorko und Willi Schaal

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 1 |
| 2 | Ausgangssituation | 1 |
| 3 | Zielsetzung und Nutzen (Benefits) | 2 |
| 4 | Konzeptidee / Lösungsansatz | 3 |
| 4.1 | Ablauf des Verpackungsprozesses | 4 |
| 4.2 | Signalfluss und Kommunikation | 5 |
| 5 | Systemarchitektur | 8 |
| 5.1 | Integration in die Produktionslinie | 8 |
| 6 | Vorgehensweise des Projekts | 9 |
| 6.1 | Analysephase | 9 |
| 6.2 | Konzeption und Schnittstellendefinition | 9 |
| 6.3 | Umsetzung und Realisierung | 10 |
| 6.4 | Testphase, Optimierung und Übergabe | 10 |
| 7 | Wirtschaftlichkeit und Investitionsabschätzung | 10 |
| 7.1 | Personalkosten: Ist-/Soll-Vergleich | 10 |
| 7.2 | Grobe Investitionskosten | 11 |
| 7.3 | Wirtschaftliche Gesamtbewertung und ROI-Betrachtung | 12 |
| 8 | Risikoanalyse und Stakeholderbewertung | 12 |
| 8.1 | Technische Risiken | 13 |
| 8.2 | Organisatorische Risiken | 13 |
| 8.3 | Stakeholderanalyse | 14 |
| 9 | Innovationsgrad | 15 |
| 9.1 | Technologischer Innovationsgrad | 15 |
| 9.2 | Digitalisierung und Datenintegration | 15 |
| 9.3 | Organisatorische und wirtschaftliche Innovation | 16 |
| 9.4 | Gesamtbewertung | 16 |
| 10 | Fazit | 17 |
| 11 | Ausblick | 17 |
| 12 | Anhang | 19 |

A Anmerkung zur Nutzung von Künstlicher Intelligenz

19

1 Einleitung

Im Rahmen der kontinuierlichen Prozessoptimierung in der Produktion, beim Unternehmen **Aumovio SE**, wurde ein erhöhtes Automatisierungspotenzial bei der Verpackung von Bremssystemen festgestellt. Derzeit erfolgt dieser Prozess noch manuell durch Mitarbeitende der Fertigung. Dies führt unter anderem zu wirtschaftlichen Nachteilen bzw. zusätzlichen Kosten sowie zu potenziellen gesundheitlichen Belastungen für die Mitarbeitenden.

Zudem gestaltet es sich zunehmend schwierig, die Verpackungsqualität an den steigenden Produktionsdurchsatz anzupassen.

Aufgrund der genannten Punkte wird im Folgenden ein Grobkonzept entwickelt, das der Weiterentwicklung der Automatisierung des beschriebenen Prozesses dient.

Ziel des Konzepts ist es, die bestehenden Defizite zu beseitigen und eine Steigerung der Qualität und Effizienz der Verpackungsstation zu ermöglichen. Es soll ein automatisiertes System entstehen, das den manuellen Prozess ablöst und sich nahtlos in die bestehende Produktionslinie integrieren lässt. Durch den Einsatz moderner Robotertechnik und automatisierter Fördertechnik können eine gleichbleibende Qualität, eine Reduzierung der Prozesszeiten sowie eine Entlastung des Personals erreicht werden.

Das Konzept dient der Geschäftsführung als Entscheidungsgrundlage, um den Nutzen und die Wirtschaftlichkeit einer automatisierten Verpackungsanlage zu bewerten. Dabei werden neben den technischen Vorteilen auch wirtschaftliche Aspekte, der Innovationsgrad sowie die erforderlichen Investitionen betrachtet. Langfristig soll die Anlage dazu beitragen, die Produktivität zu steigern und die Wettbewerbsfähigkeit durch eine kontinuierlich hohe Kundenzufriedenheit zu erhöhen.

2 Ausgangssituation

Derzeit werden die genannten Bremssysteme manuell verpackt. Hierfür steht am Ende der Produktionslinie ein separater Bereich zur Verfügung. In diesem sind pro Schicht etwa drei bis vier Mitarbeitende eingeplant, die die fertigen Produkte per Hand verpacken. Dieser manuelle Prozess ist mit einem hohen Zeitaufwand verbunden. Dadurch sinkt die Zykluszeit des Gesamtprozesses, und es kann keine durchgehend konstante Verpackungsqualität gewährleistet werden.

Während der Automatisierungsgrad der übrigen Produktionslinie sehr hoch ist, reduziert der manuelle Verpackungsprozess diesen Wert deutlich. Dies wirkt sich spürbar auf die Auslastung und die Quantität der Linie aus.

Darüber hinaus entstehen für das Unternehmen hohe Personalkosten, die unter anderem folgende Punkte umfassen:

- Gehaltskosten inklusive Bonuszahlungen
- Sozialabgaben und Zusatzleistungen
- Schulungs- und Einarbeitungskosten

Auch für die Mitarbeitenden ist der Verpackungsprozess mit einer hohen körperlichen und psychischen Belastung verbunden. Die Tätigkeit ist eintönig und bietet kaum Möglichkeiten zur Weiterentwicklung oder Qualifizierung.

Das größte Defizit liegt jedoch in der Entstehung eines Engpasses im Produktionsfluss, wodurch die Gesamtleistung der Linie beeinträchtigt wird. Infolgedessen kann die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens langfristig gefährdet sein.

3 Zielsetzung und Nutzen (Benefits)

Ziel des Grobkonzepts ist es, eine vollständig automatisierte Anlage zu entwickeln. Diese soll die aktuell noch manuell durchgeführten Tätigkeiten zur Verpackung der Bremssysteme vollständig als eigenständig integriertes System ablösen.

Durch die Implementierung einer solchen automatisierten Anlage soll der Gesamtprozess effizienter gestaltet werden. Ein weiteres Ziel ist die Sicherstellung einer gleichbleibend hohen Verpackungsqualität. Somit werden Engpässe im Produktionsfluss vermieden und die Anlagenverfügbarkeit steigt.

Ein zentrales Ziel besteht darin, die Zykluszeit zu verringern und damit den Durchsatz¹ zu erhöhen. Somit kann langfristig eine Gewinnmaximierung erzielt werden. Zudem soll das System eine reproduzierbare Verpackungsqualität gewährleisten und somit Fehlereinflüsse, die durch manuelle Bearbeitung entstehen, vermeiden.

Neben den technischen Vorteilen gibt es auch wirtschaftliche Aspekte, die für eine Umsetzung sprechen. Der Personalbedarf kann deutlich reduziert werden, wodurch eine langfristige Kostensenkung gewährleistet ist. Gleichzeitig werden die Mitarbeitenden körperlich entlastet und können künftig in höherwertigen Tätigkeitsfeldern eingesetzt werden. Dies führt zu einer gesteigerten Motivation und einer besseren Qualifizierung.

¹Der Durchsatz beschreibt die Anzahl der produzierten Einheiten pro Zeiteinheit.

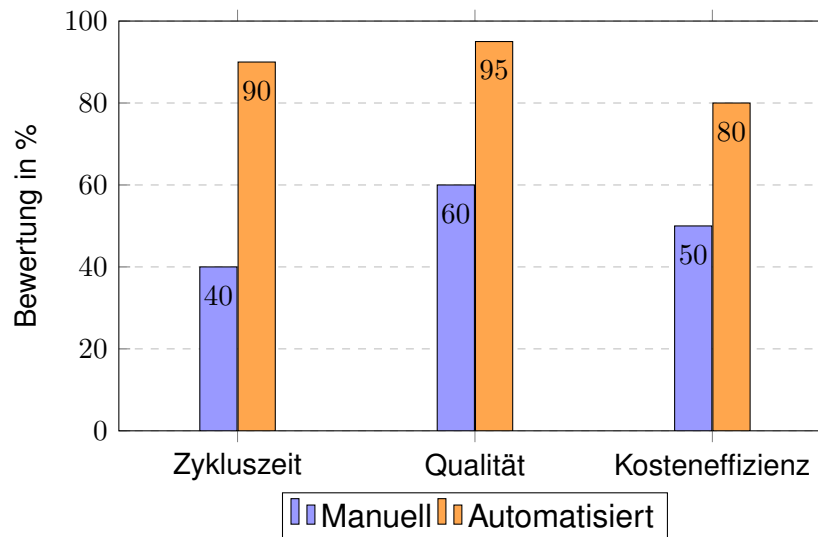


Abbildung 3.1: Vergleich der Hauptnutzen der Automatisierung gegenüber dem manuellen Verpackungsprozess

Wie in Abbildung 3.1 dargestellt, ergeben sich durch die Automatisierung deutliche Vorteile in allen relevanten Bereichen. Besonders stark verbessert sich die Zykluszeit, was zu einem höheren Durchsatz und einer besseren Auslastung der Produktionslinie führt. Gleichzeitig steigt die Verpackungsqualität und die langfristigen Prozesskosten sinken deutlich. Diese Faktoren leisten gemeinsam einen wesentlichen Beitrag zur Effizienzsteigerung und zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens.

4 Konzeptidee / Lösungsansatz

Das vorgestellte Grobkonzept verfolgt das Ziel, den aktuell manuellen Verpackungsprozess der Bremssysteme vollständig zu automatisieren. Die zentrale Idee besteht darin, eine automatisierte Verpackungsanlage zu integrieren, die über ein Roboterhandling, eine angepasste Fördertechnik und eine modulare Steuerungseinheit verfügt. Die Anlage soll in die bestehende Produktionslinie eingebunden werden, ohne den laufenden Produktionsfluss wesentlich zu beeinträchtigen.

Die Verpackungsanlage besteht aus mehreren Hauptkomponenten:

- **Industrieroboter:** Übernimmt das automatische Greifen, Positionieren und Ablegen der Bremssysteme in die Verpackungen. Der Roboter wird über eine SPS gesteuert und erhält über Profibus bzw. Profinet die Prozesssignale[1].
- **Fördertechnik:** Dient der Zuführung der fertigen Produkte und der Abführung der verpackten Einheiten. Diese ist mit Sensorik zur Teileerkennung und Stauüberwachung ausgestattet.

- **Verpackungsstation:** Beinhaltet die Vorrichtungen zum Einlegen, Zufalten und Verschließen der Verpackung. Dieser Schritt kann mechanisch oder pneumatisch ausgeführt werden.
- **Steuerung und Kommunikation:** Eine zentrale SPS (z. B. Siemens S7 oder Beckhoff) übernimmt die Ablaufsteuerung und kommuniziert mit der Robotersteuerung, der Fördertechnik sowie der übergeordneten Produktionsleittechnik.

Das Anlagenlayout ist modular aufgebaut, sodass spätere Anpassungen oder Erweiterungen möglich sind. Die Einbindung erfolgt am Ende der bestehenden Produktionslinie, wo die manuelle Verpackungsstation bisher betrieben wird. Dadurch kann die Anlage schrittweise integriert und getestet werden, ohne den Serienbetrieb vollständig zu unterbrechen.

4.1 Ablauf des Verpackungsprozesses

Der geplante Ablauf der automatisierten Verpackung lässt sich wie folgt beschreiben:

1. Das fertige Bremssystem wird vom Förderband der Montageanlage auf die Verpackungseinheit übergeben.
2. Ein Industrieroboter greift das Produkt mithilfe eines speziell angepassten Greifers.
3. Der Roboter positioniert das Produkt präzise in der Verpackung und überprüft die Lage mittels Sensorik oder Kamerasystem.
4. Nach erfolgreichem Einlegen wird die Verpackung automatisch verschlossen.
5. Die fertige Verpackung wird über das Abführband abtransportiert und einem Palettier- oder Versandbereich übergeben.

Der dargestellte Ablauf zeigt, dass die automatisierte Verpackung eine klar strukturierte und reproduzierbare Prozesskette bildet. Durch die Kombination aus robotergestützter Handhabung, sensorbasierter Lagekontrolle und automatischem Verpackungsabschluss entsteht ein stabiler und effizienter Prozess, der unabhängig von manuellen Einflüssen eine gleichbleibend hohe Qualität gewährleistet. Das folgende Ablaufdiagramm visualisiert den Prozess und stellt die einzelnen Schritte sowie deren logische Abfolge übersichtlich dar.

Zur Veranschaulichung des Prozesses dient das nachfolgende Ablaufdiagramm.

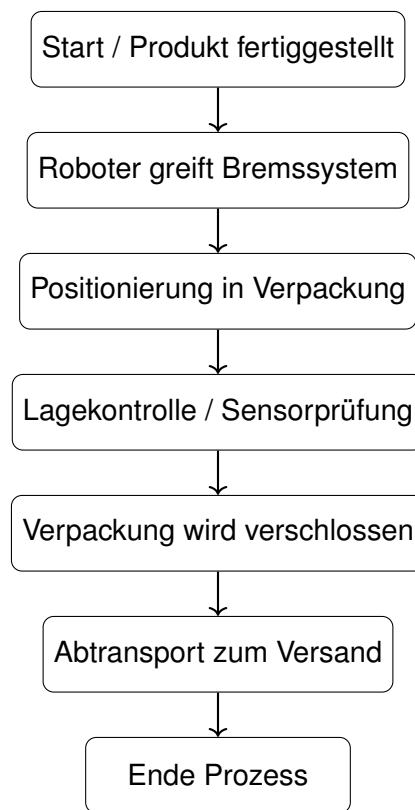


Abbildung 4.2: Ablaufdiagramm des automatisierten Verpackungsprozesses

4.2 Signalfluss und Kommunikation

Die Kommunikation zwischen den Anlagenkomponenten erfolgt über ein industrielles Bussystem. Der Roboter erhält Steuerbefehle und Statusmeldungen über digitale Ein- und Ausgänge der SPS. Die Fördertechnik liefert Rückmeldungen über Positions- und Stausensoren. Ein schematischer Signalfluss ist in Abbildung 4.3 dargestellt.

Neben den dargestellten Hauptsignalen werden im praktischen Anlagenbetrieb zahlreiche weitere Informations- und Diagnosesignale übertragen, die für einen störungsfreien Ablauf notwendig sind. Dazu gehören unter anderem Statusmeldungen der Sicherheitsmodule, Diagnosedaten der Feldgeräte sowie interne Systeminformationen der Steuerung. Durch die einheitliche Kommunikationsstruktur lassen sich diese Daten zentral auswerten, was die Instandhaltung erheblich erleichtert und eine schnellere Reaktion auf Prozessabweichungen ermöglicht. Darüber hinaus bildet der strukturierte Signalfluss die Grundlage für zukünftige Erweiterungen der Anlage, etwa die Integration zusätzlicher Sensorik oder weiterer automatisierter Prozessschritte.

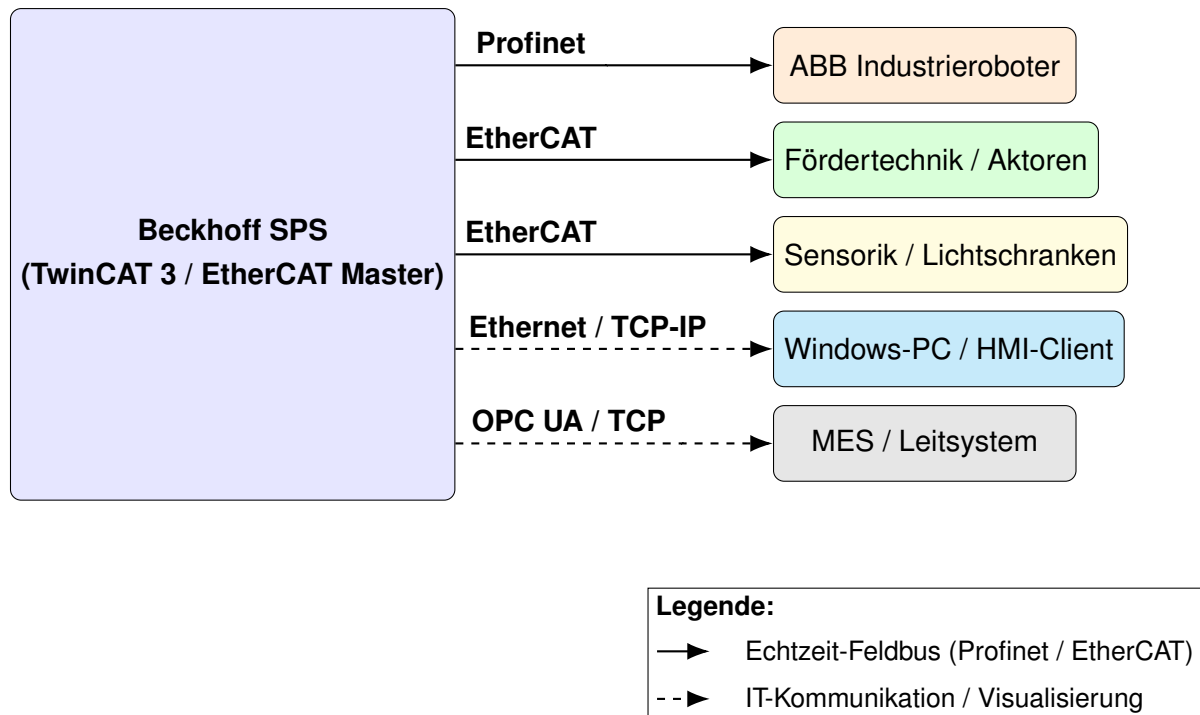


Abbildung 4.3: Kommunikationsstruktur der automatisierten Verpackungsanlage mit parallelen Signalverbindungen

In der Grafik 4.3 sind die verschiedenen Schnittstellen und Kommunikationspfade der Anlage dargestellt. Die **SPS** bildet dabei das zentrale Element der Steuerungsarchitektur[4][6]. Durch den Einsatz einer Beckhoff-Steuerung ist es möglich, einheitlich über das Hauptbussystem **EtherCAT** über alle Feldebene[n] hinweg zu kommunizieren. Dies vereinfacht nicht nur die Inbetriebnahme, sondern reduziert auch den Schulungsaufwand für das Fachpersonal.

Da alle Beckhoff-Komponenten nativ über EtherCAT angebunden werden können, entsteht eine durchgängige, echtzeitfähige Kommunikationsstruktur. Dadurch können Sensoren, Aktoren und Förderkomponenten effizient integriert und synchronisiert werden [3].

Der in der Anlage verwendete **ABB-Industrieroboter** unterstützt hingegen keine EtherCAT-Schnittstelle, weshalb die Kommunikation hier über **Profinet** realisiert wird. Die Verbindung zwischen Robotersteuerung und SPS erfolgt über definierte Signale, wodurch eine sichere und deterministische Prozessabfolge gewährleistet ist.

Durch diese Kombination aus EtherCAT und Profinet entsteht ein hybrides, aber flexibles Kommunikationskonzept, das eine hohe Kompatibilität zwischen unterschiedlichen Herstellern ermöglicht. Dies gewährleistet sowohl die funktionale Erweiterbarkeit der Anlage als auch eine langfristige Zukunftssicherheit des Steuerungskonzepts.

Über die Ethernet-Schnittstelle beziehungsweise das **OPC UA / TCP**-Protokoll können über einen Windows-PC Diagnosedaten aus der Steuerung ausgelesen und analysiert werden. Auf diesem PC wird zusätzlich das **HMI-System** ausgeführt, welches eine benutzerfreundliche Oberfläche zur Prozessvisualisierung und -überwachung bereitstellt.

Das HMI bietet erweiterte Funktionen zur Fehlerdiagnose und Prozessüberwachung. So können beispielsweise Statusinformationen, Fehlermeldungen oder manuelle Steuerbefehle direkt über die Oberfläche ausgegeben beziehungsweise ausgelöst werden. Dies ermöglicht eine schnelle Reaktion im Störfall und trägt zur Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit bei.

Die Implementierung dieser Systeme ist daher besonders empfehlenswert, um die Anlage optimal in die bestehende Produktionsumgebung zu integrieren und eine durchgängige Kommunikation zwischen Steuerung, Visualisierung und übergeordnetem Leitsystem sicherzustellen.

Im Folgenden ist die Einordnung des entwickelten Konzepts innerhalb der klassischen Automatisierungspyramide dargestellt.

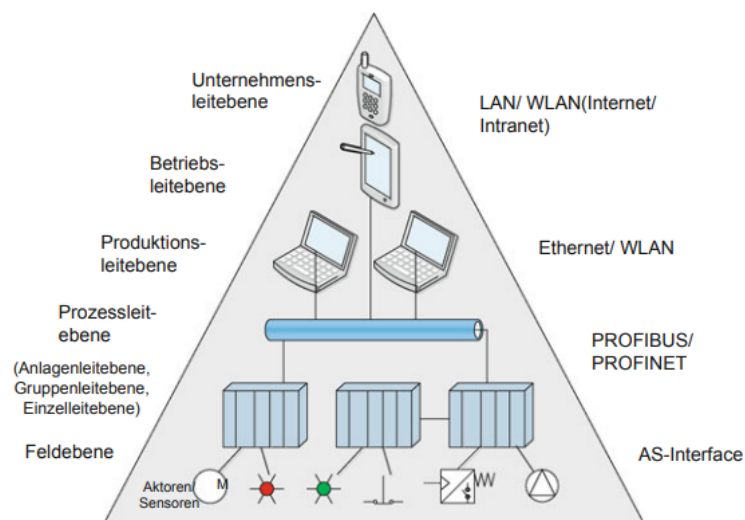


Abbildung 4.4: Einordnung des Konzepts innerhalb der Automatisierungspyramide [2]

Das vorliegende Anlagenkonzept ist überwiegend den unteren Ebenen der Pyramide zuzuordnen. Die Hauptbereiche des Projekts liegen in der Feldebene und der Prozessleitebene, in denen Sensorik, Aktorik und die Beckhoff-SPS die zentralen Steuerungs- und Kommunikationsaufgaben übernehmen. Über die Prozessleitebene erfolgt zudem die Visualisierung und Überwachung der Anlage über das HMI-System.

Im folgenden Kapitel wird die detaillierte Systemarchitektur des Use Cases beschrieben.

5 Systemarchitektur

Die Systemarchitektur beschreibt den strukturellen Aufbau und die Vernetzung der beteiligten Komponenten.

Es wird sichergestellt, dass sämtliche Bereiche - Robotik, SPS, Fördertechnik usw. - miteinander koordiniert agieren.

Für das vorliegende Konzept wurde eine Architektur entwickelt die auf einer zentralen Beckhoff- SPS basiert (so wie alle Anlagen in der Produktion bei Aumovio). Durch standardisierte Kommunikationsprotokolle ist eine hohe Kompatibilität, zwischen den einzelnen Herstellersystemen, gegeben.

So können sowohl Echtzeitprozesse auf Feldebene, als auch Datentransfers auf der Prozessleitebene, zuverlässig umgesetzt werden.

Im folgenden wird eine mögliche Integration in die aktuelle Produktionslinie (für das Bremssystem MKC2) erläutert.

5.1 Integration in die Produktionslinie

Die neue Verpackungsanlage wird am Ende der bestehenden Produktionslinie positioniert und übernimmt den Prozessschritt der automatisierten Verpackung der fertig montierten Bremssysteme. Dazu ist lediglich eine Anpassung der bestehenden Fördertechnik erforderlich, um den Materialfluss zwischen Produktionslinie und Verpackungsstation sicherzustellen.

Die Integration in die vorhandene Steuerungsarchitektur erfolgt über die bestehende Beckhoff-SPS, die über EtherCAT und Profinet mit den relevanten Komponenten kommuniziert. Dabei werden die Förderbewegungen, die Werkstückpositionierung sowie die Roboteraktionen synchronisiert. Eine Kommunikation zwischen Robotersteuerung und SPS erfolgt über definierte Profinet-Signale, wodurch der Prozessablauf zuverlässig und reproduzierbar umgesetzt werden kann.

Die Bedienung und Überwachung der Anlage erfolgt über ein PC-basiertes HMI-System, das auf einem Windows-Rechner ausgeführt wird. Dieses zentrale Interface visualisiert sowohl die Roboterfunktionen als auch den Zustand der Fördertechnik und ermöglicht eine einfache Prozessdiagnose und Störungsanalyse.

Ein wesentlicher Vorteil des gewählten Aufbaus liegt in der modularen Erweiterbarkeit. Durch die standardisierte Kommunikation und das offene Steuerungskonzept kann die Anlage bei Produktänderungen oder zukünftigen Produktionsanpassungen flexibel erweitert werden. Somit ist die neue Verpackungseinheit nicht nur auf den aktuellen Anwendungsfall ausgelegt, sondern kann langfristig in das gesamte Produktionsnetz des Unternehmens integriert und bei Bedarf skaliert werden.

6 Vorgehensweise des Projekts

Für die erfolgreiche Umsetzung der automatisierten Verpackungsanlage ist ein strukturiertes Vorgehen notwendig. Das Projekt wird in mehrere aufeinander aufbauende Phasen unterteilt, um technische, organisatorische und wirtschaftliche Aspekte systematisch zu berücksichtigen. Durch eine klare Aufteilung der Arbeitsschritte können Risiken frühzeitig erkannt und Entscheidungen fundiert getroffen werden. Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben die empfohlene Vorgehensweise.

6.1 Analysephase

Zu Beginn des Projekts steht die detaillierte Analyse des bestehenden Verpackungsprozesses. Hierbei werden alle relevanten Arbeitsschritte, Taktzeiten, ergonomische Belastungen sowie Störquellen dokumentiert. Parallel werden Anforderungen aus Produktion, Instandhaltung und Qualitätsmanagement aufgenommen. Diese Phase bildet die Grundlage für die spätere technische Auslegung der Anlage. Außerdem werden Kommunikationsschnittstellen, Sicherheitsanforderungen und Messwerte identifiziert, die für die spätere Automatisierung notwendig sind.

6.2 Konzeption und Schnittstellendefinition

Auf Basis der Analyse erfolgt die Erstellung des Grob- und Feinkonzepts. Dazu gehören die Festlegung der Bewegungsabläufe des Roboters, die Auswahl geeigneter Greifertechnik sowie die Definition aller Ein- und Ausgangssignale. In dieser Phase wird ebenfalls die Architektur der Steuerung festgelegt, insbesondere die Kommunikation über EtherCAT, Profinet und die Anbindung an das MES-System. Zusätzlich werden Layouts der Roboterzelle, Sicherheitsbereiche und notwendige Komponenten der Fördertechnik festgelegt. Diese Phase dient als Grundlage für die Freigabe durch die Geschäftsführung.

6.3 Umsetzung und Realisierung

Nach der Konzeptfreigabe beginnt die technische Umsetzung. Dazu gehören die mechanische Konstruktion der Aufnahmen, der Aufbau der Sicherheitsumhausung sowie die Installation der Felderfassung und Antriebstechnik. Parallel entwickeln SPS- und Roboterprogrammierung die Steuerlogik, Bewegungsabläufe und Sicherheitsfunktionen. Für die SPS wird die Signalverarbeitung implementiert, während der Roboter mit den notwendigen Pick-and-Place Bewegungen parametrisiert wird. Die Kommunikation aller Systeme wird in dieser Phase getestet und schrittweise in Betrieb genommen.

6.4 Testphase, Optimierung und Übergabe

Nach Abschluss der Umsetzung folgt eine Test- und Optimierungsphase. In dieser Phase wird der vollständige Verpackungsprozess unter realen Bedingungen geprüft. Zykluszeiten, Greifqualität und Prozessstabilität werden analysiert und angepasst. Ebenso wird die Kommunikation mit dem MES-System sowie die Reaktion auf Störfälle getestet. Abschließend erfolgt die Übergabe der Anlage an die Produktion, einschließlich Schulung des Bedienpersonals, Übergabe der Dokumentation und Freigabe durch das Qualitätsmanagement.

Durch diese strukturierte Vorgehensweise kann sichergestellt werden, dass die Anlage technisch zuverlässig aufgebaut wird, wirtschaftliche Ziele erreicht werden und der Produktionsprozess langfristig stabil betrieben werden kann.

7 Wirtschaftlichkeit und Investitionsabschätzung

Ein wesentlicher Bestandteil der Bewertung eines Automatisierungsprojekts ist die wirtschaftliche Betrachtung. Neben den technischen Vorteilen müssen insbesondere Investitions- und Betriebskosten gegenübergestellt werden, um den Nutzen der neuen Anlage objektiv beurteilen zu können. Im Folgenden werden die Personalkosten des bisherigen Prozesses analysiert, die voraussichtlichen Investitionen abgeschätzt und eine grobe Wirtschaftlichkeitsbewertung vorgenommen.

7.1 Personalkosten: Ist-/Soll-Vergleich

Der aktuelle Verpackungsprozess wird vollständig manuell durchgeführt und erfordert pro Schicht zwischen drei und vier Mitarbeitende. Dies führt zu hohen Personalkosten und einer starken Abhängigkeit vom Arbeitskräfteangebot. Zusätzlich entstehen ergonomische Belastungen, die zu Ausfallzeiten und gesundheitlichen Beschwerden führen können.

Durch die Einführung einer automatisierten Verpackungsanlage reduziert sich der direkte Personalbedarf deutlich. Für den Betrieb der neuen Anlage ist lediglich ein Anlagenbetreuer notwendig, der den Prozess überwacht und bei Störungen eingreift. Dies führt zu einer erheblichen Entlastung der Mitarbeitenden und zu langfristigen Einsparungen bei den Betriebskosten.

Die folgende Tabelle zeigt den Vergleich des Personalaufwands zwischen der manuellen und der automatisierten Variante:

| Kennzahl | Manuell | Automatisiert |
|-------------------------------------|----------------|----------------------|
| Personalbedarf pro Schicht | 3–4 Personen | 1 Person |
| Geschätzte jährliche Personalkosten | 100 % | ca. 35–40 % |
| Ergonomische Belastung | Hoch | Sehr gering |
| Prozessstabilität | Schwankend | Hoch |

Tabelle 1: Personalkostenvergleich zwischen manuellem und automatisiertem Verpackungsprozess

Der deutlich geringere Personalbedarf führt zu langfristigen Kosteneinsparungen. Neben den reinen Lohnkosten entfallen auch Aufwendungen für Schulungen, Einarbeitung, ergonomische Arbeitsplatzgestaltung sowie krankheitsbedingte Ausfälle. Die Einsparung im Personalbereich stellt somit einen der zentralen wirtschaftlichen Vorteile der Automatisierung dar.

7.2 Grobe Investitionskosten

Für die Umsetzung der automatisierten Verpackungsanlage fallen einmalige Investitionskosten an, die je nach Ausführung und Umfang variieren können. Eine genaue Kostenplanung erfolgt im Rahmen eines detaillierten Feinkonzepts. Für das Grobkonzept reichen jedoch Schätzwerte, die sich an Erfahrungswerten aus vergleichbaren Projekten orientieren.

Die geschätzten Investitionskosten setzen sich aus folgenden Positionen zusammen:

- Industrieroboter inkl. Steuerung und Sicherheitsmodulen
- Greifertechnik für die Produktaufnahme
- Fördertechnik sowie Anpassung der Materialflusskomponenten
- Schaltschrank, SPS-Hardware und Netzwerktechnik

- Konstruktion, Engineering und Programmierung
- Sicherheitszelle bzw. Schutzhäusung
- Inbetriebnahme und interne Abnahme

Je nach Hersteller und Ausführung ist im Regelfall mit einer Gesamtinvestition im unteren bis mittleren sechsstelligen Bereich zu rechnen. Ein erheblicher Teil der Investition entfällt dabei auf die sicherheitsrelevanten Komponenten wie Lichtgitter, Schutztüren und die mechanische Umhäusung der Roboterzelle.

7.3 Wirtschaftliche Gesamtbewertung und ROI-Betrachtung

Die wirtschaftliche Bewertung ergibt sich aus dem Verhältnis zwischen Investitionskosten und den jährlichen Einsparungen. Durch die deutliche Reduzierung des Personalbedarfs und den stabileren Prozess mit geringeren Stillstandszeiten können signifikante Kostenvorteile erzielt werden.

Ein vereinfachter ROI (*Return on Investment*) kann wie folgt dargestellt werden:

$$ROI = \frac{\text{jährliche Einsparung}}{\text{Investitionskosten}}$$

Wird beispielsweise von jährlichen Einsparungen von 30–40 % der bisherigen Personalkosten ausgegangen, amortisiert sich die Anlage typischerweise innerhalb von drei bis fünf Jahren. Zusätzlich entstehen qualitative Vorteile wie eine verbesserte Prozessstabilität, konstante Verpackungsqualität und eine höhere Anlagenverfügbarkeit, die in einer rein finanziellen Betrachtung nicht vollständig abgebildet werden können.

Insgesamt zeigt die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, dass die Einführung der automatisierten Verpackungsanlage sowohl aus technischer als auch aus finanzieller Sicht sinnvoll ist. Die Einsparungen im Betrieb, die steigende Anlagenleistung und die langfristig verbesserte Prozessqualität rechtfertigen die Investition deutlich.

8 Risikoanalyse und Stakeholderbewertung

Die erfolgreiche Umsetzung der automatisierten Verpackungsanlage erfordert eine Betrachtung möglicher technischer und organisatorischer Risiken. Durch eine frühzeitige Identifikation dieser Risiken können geeignete Maßnahmen entwickelt werden, um den Projektverlauf stabil und planbar zu gestalten. Darüber hinaus ist es notwendig, die beteiligten Stakeholder zu betrachten, da diese maßgeblichen Einfluss auf Entscheidungsprozesse, Projektfortschritt und spätere Nutzung des Systems haben.

8.1 Technische Risiken

Im Rahmen der Automatisierung ergeben sich verschiedene technische Risiken, die während Planung, Aufbau und Betrieb berücksichtigt werden müssen:

- **Greifer- und Handhabungsprobleme:** Geometrische Abweichungen oder variierende Bauteiltoleranzen können zu Fehlgriffen oder Fehllagen des Produkts führen.
- **Sensorische Fehlmessungen:** Verschmutzungen, Fremdlicht oder Verschleiß können die Genauigkeit von Lichtschranken oder Positionssensoren beeinflussen.
- **Ausfall von Aktoren oder Fördertechnik:** Mechanischer Verschleiß, blockierte Transportbänder oder Ausfälle der Antriebstechnik können den Prozessfluss stören.
- **Kommunikationsfehler:** Unterbrechungen oder Fehltelegramme im Profinet- bzw. EtherCAT-Netzwerk können den Prozessablauf beeinträchtigen.
- **Sicherheitsrisiken:** Fehlerhafte Signale an sicherheitsrelevante Komponenten (z. B. Schutztüren, Lichtgitter) können ungeplante Stillstände auslösen.

8.2 Organisatorische Risiken

Neben technischen Risiken spielen organisatorische Aspekte eine wichtige Rolle:

- **Schulungsbedarf:** Bediener und Instandhalter müssen im Umgang mit Robotertechnik und Programmierschnittstellen geschult werden.
- **Akzeptanz der Mitarbeitenden:** Veränderungsprozesse können anfänglich zu Unsicherheit oder Ablehnung führen, insbesondere wenn Arbeitsaufgaben entfallen oder sich verändern.
- **Projektabhängigkeiten:** Die Umsetzung hängt von internen Abteilungen wie Instandhaltung, Industrial Engineering oder IT ab, wodurch Verzögerungen entstehen können.
- **Integration in den Schichtbetrieb:** Neue Abläufe müssen an bestehende Materialströme und Schichtmodelle angepasst werden.

8.3 Stakeholderanalyse

Für die erfolgreiche Einführung der automatisierten Verpackungsanlage ist es essenziell, die beteiligten Interessengruppen und deren Anforderungen zu berücksichtigen.

Für die Bewertung des Projekterfolgs ist es entscheidend, die unterschiedlichen Blickwinkel der beteiligten Interessengruppen einzubeziehen. Jede Gruppe bringt eigene Anforderungen, Erwartungen und Prioritäten mit, die sich unmittelbar auf Planung, Umsetzung und späteren Betrieb der Anlage auswirken. Besonders bei Automatisierungsprojekten, die sowohl technische als auch organisatorische Veränderungen mit sich bringen, ist eine strukturierte Betrachtung der Stakeholder von zentraler Bedeutung. Nur wenn die jeweiligen Bedürfnisse frühzeitig erkannt und berücksichtigt werden, kann ein reibungsloser Projektverlauf sichergestellt werden. Dies betrifft sowohl die technische Umsetzung als auch Aspekte wie Akzeptanz, Schulung und langfristige Integration in bestehende Prozesse. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die wichtigsten Stakeholder:

| Stakeholder | Interessen / Aufgaben |
|-------------------------------|---|
| Geschäftsführung | Wirtschaftlichkeit, Investitionsentscheidung, Effizienzsteigerung |
| Produktion | Stabile Abläufe, einfache Bedienung, höhere Durchsatzleistung |
| Instandhaltung | Wartungszugänglichkeit, Diagnosemöglichkeiten, robuste Technik |
| Qualitätsmanagement | Reproduzierbare Verpackungsqualität, klare Prozessdokumentation |
| Industrial Engineering | Planung, Simulation und Optimierung des Anlagenkonzepts |
| IT / MES-Abteilung | Sichere Datenübertragung, Kompatibilität zur MES-Architektur |
| Mitarbeitende am Arbeitsplatz | Ergonomische Entlastung, klare Bedienkonzepte, Schulung |

Tabelle 2: Stakeholderübersicht

Die Zusammenführung der Stakeholderinteressen bildet eine wichtige Grundlage für die erfolgreiche Umsetzung des Projekts. Durch eine transparente Kommunikation und die frühzeitige Einbindung aller beteiligten Bereiche können Risiken minimiert und Akzeptanz geschaffen werden.

9 Innovationsgrad

Der Innovationsgrad des vorgestellten Konzepts ergibt sich sowohl aus technologischen als auch aus organisatorischen Fortschritten. Obwohl einzelne eingesetzte Technologien – wie Industrieroboter, Fördertechnik oder SPS-Steuerungen – bereits etabliert sind, entsteht der innovative Charakter insbesondere durch deren spezifische Kombination, die Integration in die bestehende Produktionsumgebung sowie den erzielten Mehrwert für den gesamten Prozessfluss.

9.1 Technologischer Innovationsgrad

Ein zentraler innovativer Aspekt ist die vollständige Automatisierung eines bislang rein manuell durchgeführten Verpackungsprozesses[1]. Während robotergestützte Montageprozesse in der Produktion weit verbreitet sind, stellt die automatische Verpackung komplexer Bremssysteme eine besondere Herausforderung dar.

Die Kombination aus:

- **ABB-Industrieroboter** mit anwendungsspezifischer Greifertechnik,
- **Beckhoff-SPS** als zentrale Steuerungseinheit,
- **modularer Fördertechnik** und Werkstückhandhabung,
- und **standardisierten Schnittstellen** (EtherCAT, Profinet, OPC UA)

führt zu einer modernen, flexiblen und zukunftsicheren Lösung. Damit entsteht ein deutlicher Innovationssprung im Vergleich zur aktuellen Situation, in der alle Handlings- und Verpackungsprozesse manuell durchgeführt werden.

9.2 Digitalisierung und Datenintegration

Die Anbindung der neuen Verpackungsanlage an das bestehende Manufacturing Execution System (MES) erhöht den Innovationsgrad zusätzlich. Durch die Bereitstellung von Echtzeitdaten wie Stückzahlen, Anlagenzuständen, Fehlermeldungen oder Prozessparametern entsteht ein digital transparenter Verpackungsprozess.

OEE-Kennwert (Overall Equipment Effectiveness)

Im Rahmen der MES-Anbindung spielt der OEE-Kennwert (Overall Equipment Effectiveness) eine zentrale Rolle.

Er dient dazu, die Gesamteffizienz einer Anlage zu bewerten und setzt sich aus drei Hauptfaktoren zusammen:

- **Verfügbarkeit** – tatsächliche Laufzeit der Anlage im Verhältnis zur geplanten Produktionszeit,
- **Leistung** – Abgleich zwischen realer und theoretisch möglicher Geschwindigkeit,
- **Qualität** – Anteil der fehlerfreien Produkte an der Gesamtmenge.

Die Berechnung erfolgt nach der Formel:

$$OEE = \text{Leistung} \cdot \text{Qualität} \cdot \text{Verfügbarkeit}$$

Durch die automatisierte Datenerfassung mittels OPC UA können erstmals alle relevanten Prozesskennzahlen zuverlässig und kontinuierlich an das MES gemeldet werden[5]. Dies war im bisherigen manuellen Prozess nicht möglich. Dadurch wird eine objektive Bewertung des Anlagenzustands und der Prozessperformance ermöglicht – ein wesentlicher Schritt in Richtung Industrie 4.0.

9.3 Organisatorische und wirtschaftliche Innovation

Neben den technischen Neuerungen bietet das Konzept auch organisatorische Vorteile. Die Automatisierung entlastet Mitarbeitende von monotonen und ergonomisch belastenden Tätigkeiten und ermöglicht eine qualifikationsgerechtere Aufgabenverteilung. Dies steigert sowohl Motivation als auch langfristige Zufriedenheit.

Durch:

- stabilisierte **Zykluszeiten**,
- reproduzierbare **Verpackungsqualität**,
- reduzierten **Personalaufwand**

ergibt sich eine deutliche wirtschaftliche Verbesserung. Die systematische Datentransparenz ermöglicht darüber hinaus eine fortlaufende Optimierung der gesamten Produktionskette.

9.4 Gesamtbewertung

Insgesamt weist das vorgestellte Konzept einen mittleren bis hohen Innovationsgrad auf. Zwar kommen etablierte Technologien zum Einsatz, jedoch in einer neuartigen Konfiguration und tiefen Integration in das bestehende Produktionssystem. Die digitale

Vernetzung über OPC UA und die umfassende MES-Anbindung erhöhen den Fortschritt zusätzlich.

Damit entsteht ein skalierbares, zukunftsorientiertes und prozessoptimierendes System, das die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens nachhaltig stärkt.

10 Fazit

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass die Einführung einer automatisierten Verpackungsanlage einen deutlichen Mehrwert für den bestehenden Produktionsprozess darstellt. Durch den Einsatz eines Industrieroboters, einer angepassten Fördertechnik sowie der zentralen Beckhoff-SPS entsteht ein stabiler und effizienter Prozess, der sich nahtlos in die bestehende Produktionslinie integrieren lässt.

Die Analyse der Ausgangssituation verdeutlicht, dass insbesondere die ergonomische Belastung, die hohen Personalkosten sowie die schwankende Verpackungsqualität zentrale Herausforderungen des bisherigen manuellen Prozesses darstellen. Diese Defizite können durch die geplante Automatisierung effektiv reduziert werden.

Ein wesentlicher Vorteil ergibt sich durch die MES-Anbindung, die eine durchgängige Dokumentation, Prozessüberwachung und Auswertung von Produktionskennzahlen ermöglicht. Damit wird ein wichtiger Schritt in Richtung einer digitalisierten und datenbasierten Produktionsumgebung umgesetzt.

Auch aus wirtschaftlicher Sicht zeigt sich, dass die Automatisierung langfristige Einsparungen ermöglicht. Trotz der erforderlichen Investitionen führt die Reduzierung des Personalbedarfs sowie die höhere Prozessstabilität zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit. Insgesamt bestätigt das entwickelte Konzept, dass die Umsetzung technisch sinnvoll, wirtschaftlich tragfähig und prozessseitig klar vorteilhaft ist.

11 Ausblick

Die entwickelte Konzeptlösung bildet eine solide Grundlage für zukünftige Erweiterungen und Optimierungen des Verpackungsprozesses. Durch den modularen Aufbau der Anlage besteht die Möglichkeit, das System bei Bedarf flexibel anzupassen. Dies betrifft sowohl Produktvarianten als auch potenziell steigende Produktionsvolumina.

Die Einbindung in das bestehende MES-System liefert zudem wertvolle Prozessdaten, die künftig zur Optimierung von Abläufen, zur frühen Erkennung von Abweichungen sowie zur Weiterentwicklung der Anlagenperformance genutzt werden können. Dadurch entsteht langfristig ein deutlicher Mehrwert für den gesamten Produktionsbereich.

Darüber hinaus ergeben sich durch die Entlastung der Mitarbeitenden neue Möglichkeiten für deren Qualifizierung und den Einsatz in anspruchsvolleren Tätigkeitsfeldern.

Dies trägt nicht nur zur Motivation im Team bei, sondern stärkt auch die zukünftige Kompetenzentwicklung im Unternehmen.

Insgesamt zeigt der Ausblick, dass die Automatisierung nicht nur eine direkte Verbesserung des Verpackungsprozesses darstellt, sondern gleichzeitig den Weg für weitere digitale und technologische Fortschritte ebnet. Das vorgestellte Konzept ist damit ein wichtiger Schritt hin zu einer modernen, leistungsfähigen und langfristig wettbewerbsfähigen Produktionsstruktur.

12 Anhang

A Anmerkung zur Nutzung von Künstlicher Intelligenz

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Künstliche Intelligenz (KI) basierte Werkzeuge benutzt. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die verwendeten Werkzeuge und den jeweiligen Einsatzzweck.

| Werkzeug | Beschreibung der Nutzung |
|----------|---|
| ChatGPT | <ul style="list-style-type: none">• Literaturrecherche (Roboter, Produktionstechnik)• Formulierungshilfe |

Tabelle 3: Liste der verwendeten KI-basierten Werkzeuge

Literatur

- [1] ABB Robotics. *Anwendungsübersicht für ABB-Industrieroboter*. Zugriff am 20. November 2025. 2025. URL: <https://new.abb.com/products/robotics/applications>.
- [2] Babel, Wolfgang. *Die Automatisierungspyramide von 1985 – Grundlegende Struktur in IoT und Industrie 4.0*. Zugriff am 10. November 2025. 2024. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-658-42987-4_6.
- [3] Beckhoff Automation GmbH & Co. KG. *TwinCAT 3 Grundlagen*. Zugriff am 20. November 2025. 2024. URL: https://download.beckhoff.com/download/document/automation/twincat3/TwinCAT_3_Grundlagen_DE.pdf.
- [4] John, Karl-Heinz und Tiegelkamp, Michael. *IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems — Reading Sample*. Zugriff am 17. November 2025. 2010. URL: https://beckassets.blob.core.windows.net/product/readingsample/684471/9783642120145_excerpt_001.pdf.
- [5] OPC Foundation. *OPC UA – Interoperability for Industrie 4.0 and IoT*. Zugriff am 20. November 2025. 2023. URL: <https://opcfoundation.org/wp-content/uploads/2023/05/OPC-UA-Interoperability-For-Industrie4-and-IoT-EN.pdf>.
- [6] OPC Foundation und PLCopen. *OPC 30000: PLC Model based on IEC 61131-3 (Released 1.02)*. Zugriff am 19. November 2025. 2020. URL: <https://reference.opcfoundation.org/PLCopen/v102/docs/>.