

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:

Bearbeitungszeitraum: 16.10.2025 -

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 Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

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
5.2 Anbindung an das Manufacturing Execution System (MES)	9
6 Wirtschaftlichkeit und Investitionsabschätzung	10
6.1 Personalkosten: Ist-/Soll-Vergleich	10
6.2 Grobe Investitionskosten	11
6.3 Wirtschaftliche Gesamtbewertung und ROI-Betrachtung	11
7 Risikoanalyse und Stakeholderbewertung	12
7.1 Technische Risiken	12
7.2 Organisatorische Risiken	13
7.3 Stakeholderanalyse	13

1 Einleitung

Im Rahmen der kontinuierlichen Prozessoptimierung in der Produktion 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 ande-

rem 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.

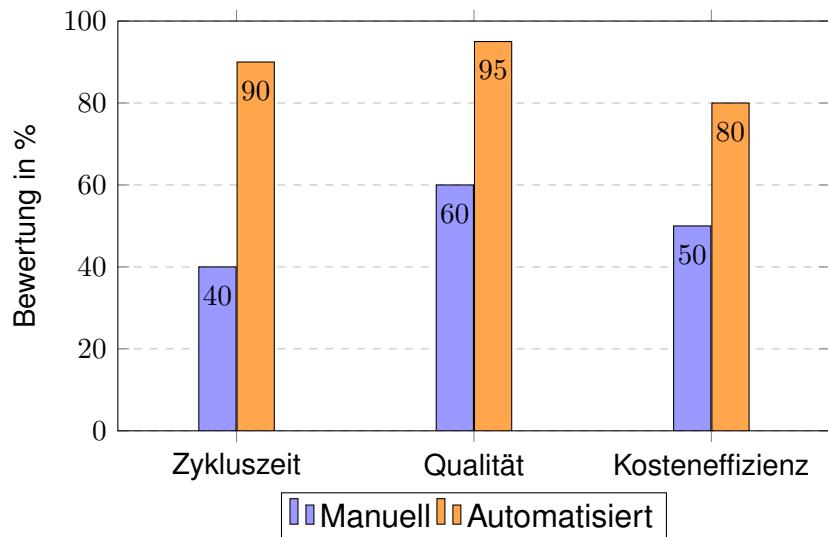


Abbildung 3.1: Vergleich der Hauptnutzen der Automatisierung gegenüber dem manuellen Verpackungsprozess

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.
- **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.

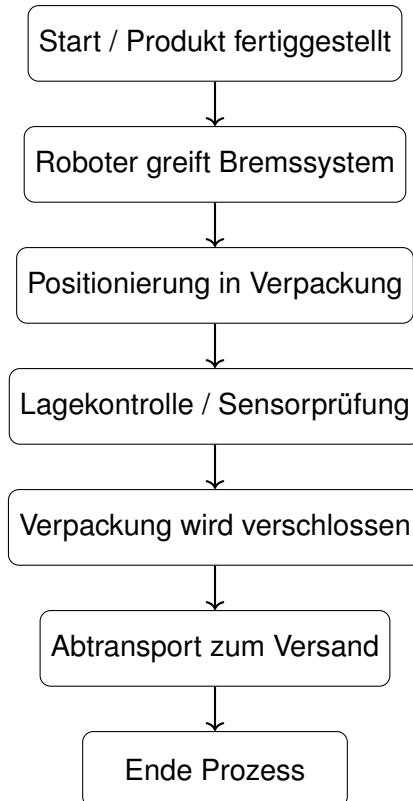


Abbildung 4.2: Ablaufdiagramm des automatisierten Verpackungsprozesses

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.

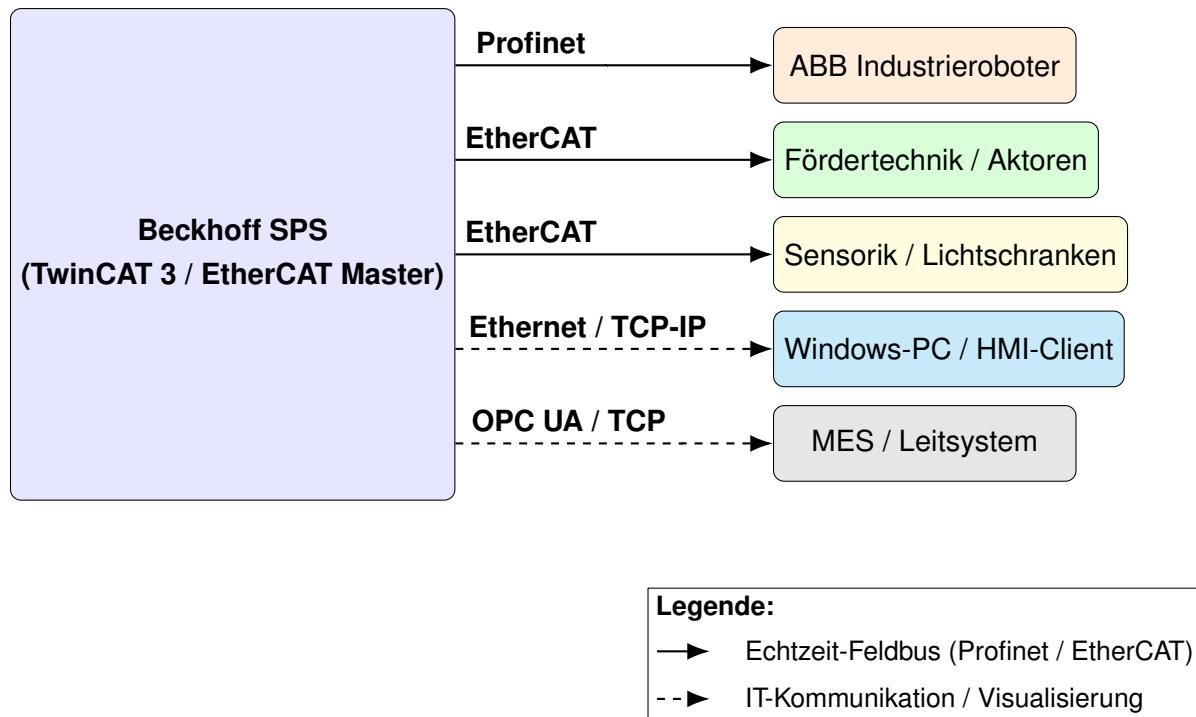


Abbildung 4.3: Kommunikationsstruktur der automatisierten Verpackungsanlage mit parallelen Signalverbindungen

In der Grafik 4.3 sind die verschiedenen Schnittstellen und Kommunikationspfade der Anlage dargestellt. Die **SPS** bildet dabei das zentrale Element der Steuerungsarchitektur. Durch den Einsatz einer Beckhoff-Steuerung ist es möglich, einheitlich über das Hauptbussystem **EtherCAT** über alle Feldebenen[**bibid**] 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.

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 Störungsfall 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.

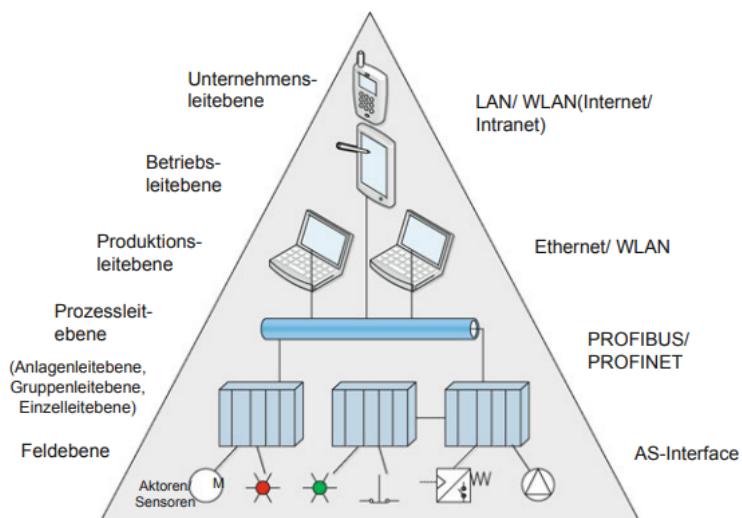


Abbildung 4.4: Einordnung des Konzepts innerhalb der Automatisierungspyramide

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 vorliegendes 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.

5.2 Anbindung an das Manufacturing Execution System (MES)

Um die Digitalisierung in der laufenden Produktion kontinuierlich aufrechtzuerhalten, ist es sinnvoll, die automatisierte Verpackungsanlage in das bestehende **MES (Manufacturing Execution System)** zu integrieren. Das MES dient zur Überwachung laufender Prozessdaten und Produktionsanlagen und ermöglicht darüber hinaus eine vollständige Rückverfolgbarkeit. Die erfassten Daten werden für Auswertungen und Analysen genutzt und können beispielsweise in den täglichen Team-Meetings diskutiert werden. Dadurch entsteht ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess, der sowohl die Produkt- als auch die Prozessqualität nachhaltig steigert.

Durch die Anbindung der neuen Verpackungsanlage werden sämtliche prozessrelevanten Daten zentrale im MES bereitgestellt. Die standardisierte Beckhoff-SPS bietet, wie bereits aus anderen Anlagen bekannt, die Möglichkeit, Messwerte, Zustände und Auswertungsprotokolle direkt an das MES zu übertragen. Hierfür steht ein integrierter *OPC UA-Server* zur Verfügung, der eine herstellerunabhängige Verbindung zwischen der Steuerungsebene und der IT-Ebene herstellt. Über diese Schnittstelle werden Parameter wie Stückzahlen, Zykluszeiten, Anlagenzustände oder Störmeldungen bereitgestellt und vom MES automatisiert ausgelesen sowie weiterverarbeitet.

Durch die Anbindung an das MES ergeben sich folgende Vorteile:

- Lückenlose Dokumentation des Verpackungsprozesses und erhöhte Rückverfolgbarkeit
- Kontinuierliche Berechnung von Kennzahlen wie OEE²
- Frühzeitige Erkennung von Prozessabweichungen und Störungen

Diese Vorteile tragen zu einer stabileren Anlagenverfügbarkeit bei und machen zusätzliche Optimierungspotenziale im laufenden Betrieb sichtbar. Somit wird eine kontinuierliche Verbesserung des gesamten Produktionsprozesses unterstützt.

²Overall Equipment Effectiveness – Kennzahl zur Bewertung der Gesamtanlageneffektivität.

Die Einbindung in das MES stellt insgesamt einen wesentlichen Schritt in Richtung **Industrie 4.0** dar. Durch die Kombination aus automatisiertem Verpackungsprozess und zentraler Datenerfassung entsteht ein skalierbares System, das langfristig flexibel erweitert und an neue Produktionsanforderungen angepasst werden kann.

6 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.

6.1 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 eine Aufsichtsperson notwendig, die 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.

6.2 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. Schutzumhausung
- 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 Umhausung der Roboterzelle.

6.3 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.

7 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.

7.1 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.

7.2 Organisatorische Risiken

Neben technischen Risiken spielen organisatorische Aspekte eine wichtige Rolle:

- **Schulungsbedarf:** Bediener und Instandhalter müssen im Umgang mit Roboter-technik 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.

7.3 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
Geschäftsleitung	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.