

Optimierung eines Lagers

durch ein automatisiertes Hochregallager mit ERP-Anbindung

Hausarbeit Automationssysteme

Studiengang Elektrotechnik

Studienrichtung Automation

Duale Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg, Campus Friedrichshafen

von

Simon Gschell / Patrik Peters

Abgabedatum:	17. November 2024
Bearbeitungszeitraum:	21.10.2024 - 20.12.2024
Matrikelnummer:	123 456
Kurs:	TEA 22
Betreuerin / Betreuer:	Dipl. Ing. Heike Schatton-Beck

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.

Ich versichere hiermit, dass ich meine Hausarbeit Automationssysteme mit dem Thema:

Optimierung eines Lagers

selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Ich versichere zudem, dass die eingereichte elektronische Fassung mit der gedruckten Fassung übereinstimmt.

Musterstadt, den 17. November 2024

Simon Gschell / Patrik Peters

Kurzfassung

Aufgrund des Fachkräftemangels, auch im Bereich Logistik, wird es immer wichtiger, möglich viele Arbeitsschritte zu automatisieren. In dieser Hausarbeit wird einer fiktiven Optimierung eines Hochregallagers nachgegangen. Momentan befindet sich das Hochregal in einem kompletten manuellen Betrieb. Die Ware muss von einem Mitarbeiter händisch einsortiert werden. Dieser pflegt auch die Daten ins System ein und bestellt bei Bedarf die Ware nach. All diese Arbeitsschritte sind zeitintensiv und anfällig für Fehler.

Ziel ist es, durch eine Automatisierung soll das Hochregallager effizienter werden. Die Automatisierung soll zu einer höheren Produktivität führen, indem die Bearbeitungszeit verringert und die Fehler minimiert werden. Dafür soll das Hochregalsystem in der Lage sein, die Waren eigenständig ein- und auslagern zu können. Bei einem niedrigen Lagerbestand soll über das ERP-System neue Ware nachbestellt werden. Hierfür ist es notwendig, dass das Hochregallager den Lagerbestand in Echtzeit überwacht. Um diese Anforderung umzusetzen, ist es wichtig, dass alle Produkte zuverlässig erkannt werden. Die Erkennung erfolgt über die RFID-Technologie, welche eine hohe Digitalisierung des Lagers voraussetzt, um die Informationen kontinuierlich aktualisieren zu können.

Ziel dieser Hausarbeit ist es, ein umfassendes Grobkonzept zu entwickeln. Dieses Konzept soll dabei helfen, die Idee eines automatisierten Hochregallagers klar und anschaulich der Geschäftsleitung zu präsentieren. Das Aufzeigen der Vorteile soll die Manager von einer Umstellung auf eine Automation überzeugen und die Bereitstellung eines Budgets sichern.

In dieser Hausarbeit wird auf folgende fünf Themen eingegangen:

1. **Benefits:** Hier wird auf die Vorteile, welche durch eine Automatisierung des Lagers entstehen, eingegangen
2. **Vorgehensweise:**

3. **Risiken:**

4. **Kosten:**

5. **Innovationsgrad:**

Abstract

English translation of the „Kurzfassung“.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	IST-Zustand der Lagerlogistik	3
3	Benefits	5
4	Vorgehensweise bzw Darstellung Komponenten???	7
4.1	hardwaretechnische Umsetzung	7
4.1.1	Einsatz von Regalbediengeräten	7
4.1.2	technische Daten	8
4.2	softwaretechnische Lösung	9
4.2.1	Implementierung des Lagerverwaltungssystem	9
4.2.2	Verbindung mit ERP-System	9
4.2.3	??? Vernetzung und IoT	10
4.2.4	??? Künstliche Intelligenz zur Lageroptimierung	10
5	Risiken	11
5.1	Technologische Risiken	11
5.2	Sicherheitsrisiken	11
5.3	Wirtschaftliche Risiken	12
6	Kosten	13
7	Zusammenfassung	17
8	Brainstorming	19
	Literaturverzeichnis	21
	Abbildungsverzeichnis	23
	Tabellenverzeichnis	25
	Index	26

1 Einleitung

Sehr geehrte Geschäftsführung,

die Automatisierung unseres Hochregallagers bietet eine einzigartige Möglichkeit, die Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit unseres Unternehmens maßgeblich zu steigern. Mit modernen Technologien können wir Bearbeitungszeiten verkürzen, Fehlerquoten minimieren und die Sicherheit unserer Mitarbeiter erhöhen, während wir gleichzeitig langfristige Kosten senken. Dieses Projekt ist eine zukunftsweisende Investition, die uns flexibler und nachhaltiger auf die Anforderungen eines dynamischen Marktes reagieren lässt.

Für die Erstellung der vorliegenden Dokumentation haben zahlreiche Experten aus den Bereichen Logistik, Automatisierungstechnik und IT eng zusammengearbeitet. Ihre Fachkenntnisse und tiefgehenden Analysen haben zu einem umfassenden Verständnis der Chancen und Herausforderungen dieses Projekts geführt. Auf den folgenden Seiten finden Sie eine kurze präzise Darstellung der Vorteile, die erforderlichen Maßnahmen und Vorgehensweise, die kalkulierten Kosten, aber auch die Risiken dieses Projekts.

Das Automatsierungsteam ladet Sie herzlich ein, dieses Wissen zu nutzen und mit uns gemeinsam den nächsten Schritt in eine innovative und erfolgreiche Zukunft zu gehen.

2 IST-Zustand der Lagerlogistik

Das Hochregallager unseres Unternehmens wird derzeit manuell betrieben. Mit einer Kapazität von **10.000 Lagerplätzen** erfolgt die Ein- und Auslagerung ausschließlich mit **Gabelstaplern**, wobei alle Warenbewegungen manuell im Computersystem erfasst werden. Obwohl dieses System über viele Jahre zuverlässig funktioniert hat, stoßen wir zunehmend an seine Grenzen, insbesondere in Hinblick auf Effizienz, Fehleranfälligkeit und Skalierbarkeit.

Kapazität und Arbeitsabläufe

Der tägliche **Wareneingang** liegt bei **300 Paletten**, der **Warenausgang** bei **400 Paletten**. Die Prozesse sind langsam und fehleranfällig, da die Einlagerung und Datenerfassung zeitversetzt erfolgen. Dies führt häufig zu ungenauen Bestandsdaten und Verzögerungen.

Die größten Herausforderungen bestehen bei der Datenverwaltung: Jeder Wareneingang und jede Auslagerung muss manuell in das Lagerverwaltungssystem eingegeben werden. Dies erfolgt oft zeitversetzt, was dazu führen kann, dass Bestandsdaten nicht in Echtzeit verfügbar sind. Solche Verzögerungen können zu Fehlbeständen oder Überbeständen führen, was wiederum die Kundenzufriedenheit beeinträchtigen kann.

Mitarbeiter und Arbeitszeiten

Im Zwei-Schicht-Betrieb mit **10 Mitarbeitern** wird täglich **16 Stunden** gearbeitet. Die Arbeit ist körperlich belastend und umfasst sowohl die Bedienung der Gabelstapler als auch manuelle Tätigkeiten wie das Bewegen von Kartons.

Herausforderungen

- **Effizienz:** Langsame Prozesse und fehlende Echtzeitdaten.
- **Fehleranfälligkeit:** Häufige Eingabefehler und Fehlplatzierungen.
- **Sicherheitsrisiken:** Hohe körperliche Belastung und Unfallgefahr.
- **Kapazitätsgrenzen:** Steigende Anforderungen erschweren den reibungslosen Betrieb.

Fazit: Der derzeitige Betrieb des Hochregallagers ist funktional, aber ineffizient und mit erheblichen Risiken verbunden. Angesichts des wachsenden Bedarfs an höherer Geschwindigkeit, Präzision und Sicherheit besteht ein klarer Handlungsbedarf, um die Lagerprozesse an moderne Standards anzupassen. Eine Automatisierung bietet die Möglichkeit, diese Schwachstellen zu beseitigen und das Lager zukunftsfähig aufzustellen.

3 Benefits

Im Kapitel Benefits, geht es um die verschiedenen Vorteile, die durch eine Automatisierung eines Hochregallagers erzielt werden können.

- **Platzersparnis:** Durch effiziente Nutzung des verfügbaren Raums. Durch die bessere Ausnutzung der Höhe können bei begrenztem Platz mehr Produkte im vertikal arbeitenden System gelagert werden. Ebenso können auch die Korridore minimiert werden, wodurch die Lagerkapazität weiter gesteigert werden kann [Fra02].
- **Bessere Bestandskontrolle und -übersicht:** Eine präzise Analyse und optimale Lagerbewirtschaftung werden durch die vom System generierten Daten ermöglicht. Mithilfe der Echtzeit-Datenanalyse lässt sich schneller Veränderungen, z.B. Marktveränderungen, Preisveränderungen reagieren [Gun+15].
- **höhere Arbeitssicherheit:** Aufgrund der Automatisierung verbessert sich die Arbeitssicherheit deutlich. Durch das Automatisieren der Prozesse wird das menschliche Eingreifen minimiert, wodurch sich auch das Risiko für Arbeitsunfälle verringert. Auch müssen die Mitarbeiter keine schweren Lasten mehr heben [KF19].
- **Kosteneinsparung:** Die Kosten für eine Umstellung auf ein automatisiertes System sind zwar recht kostenintensiv, allerdings amortisiert sich die Änderung meist innerhalb weniger Jahre. Grund dafür sind die reduzierten Personalkosten sowie die geringere Fehlerquote. Die effizientere Raumnutzung trägt ebenfalls positiv zur Kosteneinsparung bei. Eine detaillierte Kostenkalkulation wird im Kapitel 6 aufgezeigt. [Mül23].

4 Vorgehensweise bzw Darstellung Komponenten???

4.1 hardwaretechnische Umsetzung

In diesem Abschnitt werden alle Maßnahmen für die hardwaretechnische Lösung aufgezeigt. Dabei wird die Funktionsweise erläutert und die technischen Spezifikationen dargestellt.

4.1.1 Einsatz von Regalbediengeräten

Die Gabelstapler werden durch Regalbediengeräten (RBG) ersetzt. Der technische Ablauf eines RBGs läuft in mehreren automatisierten Schritten ab, die durch ein Lagerverwaltungssystem (WMS) gesteuert werden:

1. Auftragseingang Das WMS gibt dem RBG einen Ein- oder Auslagerungsauftrag, der den genauen Lagerplatz der Ware sowie deren Position im Regal enthält. Das RBG erhält diese Informationen und bereitet sich automatisch auf die Ausführung vor.
2. Positionierung und Anfahrt Das Regalbediengerät bewegt sich entlang der fest installierten Schienen oder Führungen in der Gasse des Hochregallagers. Es fährt zuerst horizontal zur richtigen Regalposition und nutzt dann vertikale Schienen, um auf die genaue Höhe des Lagerfachs zu gelangen.

3. Sensoren und Ausrichtung Mithilfe von Lasersensoren und Kamerasystems überprüft das RBG die Position der Ware sowie des Lagerplatzes. Die Sensoren sorgen dafür, dass das Gerät millimetergenau an der gewünschten Position anhält, ohne menschliches Eingreifen.
4. Ein- oder Auslagerungsvorgang Je nach Auftrag wird die Ware durch einen Tele-skoparm oder eine Gabel erfasst. Beim Einlagern wird die Ware präzise in das Fach geschoben, beim Auslagern greift das RBG die Ware und zieht sie zurück in die eigene Vorrichtung.
5. Transport zur Übergabestation Nach Abschluss des Vorgangs fährt das RBG automatisch zur Übergabestation, wo die Ware für den Weitertransport durch Förderbänder, autonome Transportfahrzeuge oder manuelle Entnahme bereitgestellt wird.
6. Rückmeldung an das WMS Nach erfolgreicher Ein- oder Auslagerung meldet das RBG den Abschluss des Auftrags an das Lagerverwaltungssystem, das den Lagerbestand aktualisiert und den nächsten Auftrag erteilt. Diese vollautomatisierten und präzisen Abläufe ermöglichen einen effizienten Lagerbetrieb und reduzieren die Notwendigkeit von manuellen Eingriffen.

4.1.2 technische Daten

- Tragfähigkeit: bis 1.500 kg (Paletten), max. Hubhöhe: 45 m
- Geschwindigkeit: Horizontal bis 200 m/min, Vertikal bis 90 m/min
- Positionierung: Lasersensoren und Kameras für millimetergenaue Platzierung
- Energieeffizienz: Energierückgewinnungssystem beim Bremsen
- Kommunikation: Ethernet/WLAN für WMS-Anbindung, OPC-UA für ERP-Integration
- Sicherheitsfunktionen: Hindernissensoren, automatische Notbremsen
- Umgebungsbeständigkeit: Betriebstemperatur -30°C bis +45°C (auch für Kühllhäuser)

- Wartung: Selbstdiagnose und vorausschauende Wartung

4.2 softwaretechnische Lösung

In diesem Abschnitt werden alle Maßnahmen für die softwaretechnische Lösung aufgezeigt...

4.2.1 Implementierung des Lagerverwaltungssystem

Das WMS wird in einer Cloud-basierten Lösung installiert und mit den Daten zu allen Lagerplätzen, Beständen und Aufträgen gefüttert. In einem initialen Schritt werden alle Lagerartikel in das System eingepflegt, sodass das WMS jederzeit den exakten Lagerbestand und die Positionen der Waren im Regal kennt. Es agiert als zentrale Plattform zur Verwaltung der Lagerprozesse, plant die Ein- und Auslagerungen, weist den Regalbediengeräten entsprechende Aufgaben zu und überwacht ihre Ausführung in Echtzeit.

4.2.2 Verbindung mit ERP-System

Um den gesamten Material- und Warenfluss effizient zu steuern, wird das WMS direkt mit dem ERP-System des Unternehmens verknüpft. Das ERP-System verwaltet die übergeordneten Geschäftsdaten wie Bestellungen, Lagerbestände und Produktionsanforderungen. Wenn beispielsweise eine neue Bestellung im ERP eingeht, übermittelt das System die Anforderungen an das WMS, welches daraufhin automatisch die Lageraufträge für die Regalbediengeräte erstellt.

Durch diese enge Verzahnung zwischen WMS und ERP können Warenbewegungen nahtlos in die Unternehmensprozesse integriert werden. Sobald ein Auftrag abgeschlossen ist, meldet das WMS die Informationen über die Bestandsänderungen zurück an das ERP-System, welches daraufhin die Bestands- und Finanzdaten aktualisiert.

4.2.3 ??? Vernetzung und IoT

Vernetzung und IoT (Internet der Dinge): Alle Geräte im Lager sind mit Sensoren ausgestattet und über das Internet der Dinge vernetzt. Diese Sensoren erfassen und übertragen in Echtzeit Daten wie Standort, Zustand und Energieverbrauch der Geräte. Das IoT ermöglicht es dem Unternehmen, den Zustand der Geräte kontinuierlich zu überwachen und Wartungen proaktiv durchzuführen, bevor es zu Störungen kommt.

4.2.4 ??? Künstliche Intelligenz zur Lageroptimierung

Optimierung von Lagerprozessen mit KI: Künstliche Intelligenz kann die Abläufe im Lager optimieren, indem sie aus vergangenen Daten lernt und zukünftige Nachfrageprognosen erstellt. Maschinelles Lernen analysiert Bestellmuster und Lagerbewegungen, um die Lagerplatzierung von Artikeln zu optimieren und die Rüstzeiten zu reduzieren.

5 Risiken

In diesem Kapitel wird auf die möglichen Risiken näher eingegangen. Durch die Automatisierung eines Hochregallagers entstehen verschiedene Risiken. Hier im Kapitel wird zuerst auf die technologischen Risiken eingegangen. Anschließend werden die Sicherheits- und wirtschaftlichen Risiken analysiert.

5.1 Technologische Risiken

Ein automatisiertes Hochregallager ist ein komplexes Zusammenspiel aus Software und Hardware. Das Auftreten eines technischen Problems in einem dieser Bereiche kann zu Störungen, was einen erheblichen Einfluss auf den Betriebsauflauf des Hochregallagers hat. System- oder Softwarefehler stellen ein hohes Risiko dar. Sie könne durch unzureichenden Test oder durch mangelnde Wartung entstehen. Im schlimmsten Fall kann es dadurch zu Ausfällen oder Störungen im kompletten Lagerablauf kommen, was hohen Kosten verursachen kann [Har19].

Bei einer späteren Erweiterung des Hochregallagers kann es zu Integrationsproblemen mit dem neuen System kommen. Um diesen Fehler zu vermeiden, muss sichergestellt werden, dass das automatisierte System Komponenten verwendet, welche in Zukunft kompatibel mit einer voraussichtlichen Erweiterung sind. Optimalerweise wird hierfür bei der Auswahl auf Standardsysteme für die Industrie zurückgegriffen.

5.2 Sicherheitsrisiken

Mit der zunehmenden Automatisierung und der mit verbunden Vernetzung des Lagersystems, auch mit externen Systemen steigt das Cyber-Risiko. Ein Cyber-Angriff auf das automatisierte Hochregallager, könnte nicht nur zum Verlust sämtlicher Daten führen,

sonder auch den kompletten Lagerprozess stören und sogar lahmlegen. Daher sind robustere IT-Systeme notwendig, vor allem zu externen Schnittstellen, wie ERP-System [Hau15].

Obwohl der Mensch durch die Automatisierung zunehmend ersetzt werden soll, kann es dennoch zu Gefährdungen kommen. Beinahe- oder Unfälle können durch Fehlfunktionen oder Fehlverhalten des Mitarbeiters auftreten. Um schwere Unfälle zu vermeiden müssen eindeutige Prozesse zum Stoppen des Systems definiert werden und es sind entsprechende Sicherheitsvorkehrungen bei der Planung zu berücksichtigen [Fah16].

5.3 Wirtschaftliche Risiken

Der Umbau des Lagers auf ein automatisiertes System ist mit einer hohen Investition von Kapital verbunden. Da es einige kostenintensive Neuanschaffungen wie z.B. Steuerung, Sensoren, Software etc. bedarf. Diese aufgewendeten Kosten müssen durch die Steigerung der Effizienz und Produktivität eingespart werden. Es besteht das Risiko, dass es mehr Zeit braucht, bis sich die Umrüstung amortisiert hat [Sch94].

Ein weiteres Risiko sind die Wartungs- und Instandhaltungskosten. Um einen fehlerfreien und reibungslosen Ablauf des Systems sicherzustellen, ist es wichtig regelmäßige Wartungen zu machen und eventuelle Verschleißteile austauschen. Die Kosten für Support und Instandhaltung könne die Zeit bis zur Amortisierung deutlich verlängern.

6 Kosten

Kostenkalkulation und Vergleich

In diesem Abschnitt werden die einmaligen Investitionskosten für die Automatisierung unseres Hochregallagers sowie die jährlichen Betriebskosten des aktuellen und des zukünftigen Systems gegenübergestellt. Ziel ist es, eine fundierte wirtschaftliche Bewertung vorzunehmen.

Durch die Gegenüberstellung der Betriebskosten und die Berechnung der Amortisationszeit zeigt sich, ab wann sich die Investition in das neue automatisierte System für unser Unternehmen finanziell lohnt. Diese Analyse dient als Grundlage für die Entscheidungsfindung und unterstreicht die langfristigen Vorteile des Projekts.

Kostenkalkulation für die Automatisierung

Kostenpunkt	Kosten (€)	Beschreibung
Automatisierte Regalbediengeräte	300.000	2 Geräte à 150.000 €
Fördertechniksysteme	750.000	10 Meter Förderband à 75.000 €
Lagerverwaltungssystem (WMS)	150.000	Lizenz: 100.000 €, Installation: 50.000 €
Transportroboter	250.000	5 Roboter à 50.000 €
Systemintegration	80.000	Einmalige Kosten für Integration und Tests
Schulung und Mitarbeiterweisung	10.000	Training der Mitarbeiter
Wartungskosten	20.000	Regelmäßige Wartung
Gesamtkosten (Einmalig)	1.540.000	

Tabelle 6.1: Kosten für die Automatisierung

Kostenpunkt	Kosten (€)	Beschreibung
Personalkosten	500.000	10 Mitarbeiter, 50.000 €/Jahr pro Mitarbeiter
Betriebskosten Gabelstapler	120.000	Treibstoff, Wartung (4 Stapler à 30.000 €)
Fehlerkosten	50.000	Fehlbestände, manuelle Korrekturen
Unfallkosten	30.000	Direkte und indirekte Unfallfolgekosten
Gesamtkosten	700.000	

Tabelle 6.2: Jährliche Betriebskosten im aktuellen Zustand

Aktueller Zustand: Betriebskosten

Automatisiertes System: Betriebskosten

Kostenpunkt	Kosten (€)	Beschreibung
Personalkosten (jährlich)	250.000	5 Mitarbeiter, 50.000 €/Jahr pro Mitarbeiter
Wartungskosten (jährlich)	20.000	Regelmäßige Wartung
Stromkosten Automatisierung	30.000	Betrieb der automatisierten Geräte
Gesamtkosten (jährlich)	300.000	

Tabelle 6.3: Jährliche Betriebskosten des automatisierten Systems

Vergleich und Rentabilität

Einmalige Investition: 1.540.000 €

Jährliche Betriebskosten:

- **Aktueller Zustand:** 700.000 €
- **Automatisiertes System:** 300.000 €

Einsparung pro Jahr:

$$\text{Einsparung} = 700.000 - 300.000 = 400.000 \text{ €}$$

Amortisationszeit:

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{Einmalige Investition}}{\text{Jährliche Einsparung}} = \frac{1.540.000}{400.000} = 3,85 \text{ Jahre}$$

Fazit

Das automatisierte System amortisiert sich in weniger als 4 Jahren und bietet langfristige Einsparungen. Es verbessert die Effizienz, reduziert Fehler und erhöht die Sicherheit, wodurch es eine zukunftsweisende Investition für das Unternehmen darstellt.

7 Zusammenfassung

Auf zwei bis drei Seiten soll auf folgende Punkte eingegangen werden:

- Welches Ziel sollte erreicht werden
- Welches Vorgehen wurde gewählt
- Was wurde erreicht, zentrale Ergebnisse nennen, am besten quantitative Angaben machen
- Konnten die Ergebnisse nach kritischer Bewertung zum Erreichen des Ziels oder zur Problemlösung beitragen
- Ausblick

In der Zusammenfassung sind unbedingt klare Aussagen zum Ergebnis der Arbeit zu nennen. Üblicherweise können Ergebnisse nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ benannt werden, z. B. „...konnte eine Effizienzsteigerung von 12 % erreicht werden.“ oder „...konnte die Prüfdauer um 2 h verkürzt werden“.

Die Ergebnisse in der Zusammenfassung sollten selbstverständlich einen Bezug zu den in der Einleitung aufgeführten Fragestellungen und Zielen haben.

Die Kombination aus WMS, ERP und den automatisierten Regalbediengeräten schafft ein vollständig integriertes, „smartes“ Lager. Alle Prozesse laufen digital gesteuert ab, was nicht nur die Geschwindigkeit und Präzision der Lagerprozesse erhöht, sondern auch die Datentransparenz und Steuerbarkeit im gesamten Unternehmen verbessert.

8 Brainstorming

Literaturverzeichnis

- [Fah16] Sandra Katharina Fahl. „Stand der Technik und Ausblick der Automatisierungstechnik für den diskontinuierlichen Transport Untertage-Projektarbeit“. Deutsch. Diss. RETH AAachen, 2016.
- [Fra02] Edward Frazelle. *World-Class Warehousing and Material Handling*. McGraw-Hill, 2002.
- [Gun+15] A. Gunasekaran u. a. „Big Data in Operations and Supply Chain Management: Facts and Future Directions“. In: *International Journal of Production Economics* (2015).
- [Har19] Dirk H. Hartel, Hrsg. *Projektmanagement in Logistik und Supply Chain Management : Praxisleitfaden mit Beispielen aus Industrie, Handel und Dienstleistung*. ger. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage. SpringerLink Bücher. Wiesbaden: Springer Gabler, 2019. ISBN: 978-3-658-23999-2. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-23999-2>.
- [Hau15] Christian Haumer. „IT-Sicherheit im Konzept Industrie 4.0/eingereicht von: Christian Haumer“. Deutsch. Diss. Johannes Kepler Uni Linz, 2015.
- [KF19] P. Kelle und A. Fuchs. „Safety in Automated Warehousing“. In: *International Journal of Production Research* (2019).
- [Mül23] A. Müller. „Wirtschaftlichkeit von automatisierten Lagerlösungen“. In: *Wirtschaftsforum für Logistik* (2023).
- [Sch94] Matthias Schmitz. *Flexibel automatisierte Fertigungssysteme*. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag Wiesbaden, 1994.

Abbildungsverzeichnis

Tabellenverzeichnis

6.1	Kosten für die Automatisierung	13
6.2	Jährliche Betriebskosten im aktuellen Zustand	14
6.3	Jährliche Betriebskosten des automatisierten Systems	14