

Diplomarbeit

DEZENTRALISIERUNG EINER BALLENLINIE

ausgeführt am



Fachhochschul-Masterstudiengang
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

Marina Müllner, BA

1910322025

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

Graz, im Juli 2021

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.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Martin Müller', is written above a horizontal dotted line.

Unterschrift

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei den Personen bedanken ohne deren Unterstützung, die Umsetzung dieser Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

Mein Dank gilt meinen Arbeitskolleg*innen und dem Betreuer dieser Diplomarbeit Dipl.-Ing. Franz Michael Fasch, mit denen ich Rücksprache halten konnte, wann immer ich es brauchte. Außerdem möchte ich Axel Brunnbauer, meiner Familie, meinen Freundinnen und meinen Studienkollegen danken, die mich motivierten, wenn es notwendig war.

KURZFASSUNG

Durch die zunehmende Digitalisierung können Produktionssysteme flexibler aufgebaut werden, um Kundenanforderungen besser nachzukommen. Grundlage dafür ist eine dezentrale Auslegung der Systeme.

Für eine zentral ausgelegte Zellstoffproduktionsanlage wird ein neues dezentrales Konzept erstellt und getestet. Die Automatisierung der Anlage wird dezentral aufgebaut. Ein solches Automatisierungs-Konzept für Produktionsanlagen bietet viele Vorteile für Unternehmen. Indem jede Maschine als standalone Equipment umgesetzt wird, können entlang der gesamten Wertschöpfungskette Standards eingeführt werden. Vom Verkauf bis zur Inbetriebnahme können dadurch Prozesse vordefiniert werden. Dadurch verkürzt sich die Zeit, die für das Engineering der Maschine benötigt wird. Zusätzlich können aufgrund des modularen Aufbaus die Maschinen bereits vor der Auslieferung so gefertigt werden, dass sie vollständig funktionsfähig sind. Bei zentralen Auslegungen ist dies nicht der Fall. Eine dezentrale Auslegung ermöglicht es daher vorab Tests durchzuführen und Fehler zu beheben. Auf diese Weise werden kostenintensive Montagen und Inbetriebnahmen verkürzt. Die Software bleibt jedoch zentral, da die Vorteile einer zentralen Steuerung im Fall der Zellstoffproduktionsanlage in den meisten Bereichen überwiegen.

Aufgrund des dezentralen Konzepts kann die Anlage kostengünstiger angeboten werden und ist flexibler bedienbar. Das Konzept setzt den Grundstein für eine weitere Dezentralisierung, sobald es dementsprechende technische Möglichkeiten gibt.

ABSTRACT

Increasing digitalization means that production systems can be set up more flexibly to better meet customer requirements. The basis for this is a decentralized design of the systems.

For a centrally designed pulp production plant, a new decentralized concept for the plant is being created and tested. On the hardware side, the concept is designed to be decentralized. The decentralized design of production plants offers many advantages for manufacturers and clients. Through the modularization of machines, standards can be introduced. Through standardization, the time needed for the engineering of the machine is reduced. In addition, because of the modular design, parts of the production system can be manufactured to be fully functional before delivery. This is not the case with centralized designs. A decentralized design therefore allows tests to be carried out in advance and faults to be corrected. In this way, cost-intensive assembly and commissioning are shortened. However, the software remains centralized, as the advantages of centralized control outweigh the disadvantages in most areas in the case of the pulp production plant.

Due to the decentralized concept, the plant can be operated more flexibly and can be offered at lower cost. The concept lays the foundation for further decentralization as soon as there are relevant technical possibilities.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
1.1	Ballenlinie.....	1
1.2	Problemstellung	2
1.3	Zielsetzung.....	2
2	Systematische Entscheidungsfindung	4
2.1	Entscheidungstheorie	4
2.2	Stakeholder.....	5
2.3	Risikomanagement	6
2.4	Nutzwertanalyse	8
2.4.1	Erstellung der Nutzwertanalyse	8
2.4.2	Häufige Fehler der Nutzwertanalyse	9
3	Modularität des Equipments.....	11
3.1	Flexibilität und Modularisierung	11
3.2	Engineering Aufwand.....	12
3.3	Modulares Softwarekonzept	13
3.4	Modulare Automatisierung.....	14
3.5	Sukzessive Modularisierung	16
4	Kommunikationsmöglichkeiten.....	18
4.1	Profinet.....	18
4.2	IO-Link	21
5	Cyber-Physische Systeme	22
5.1	Definition CPS.....	22
5.2	Eigenschaften von CPS.....	23
5.3	Technologien in CPS	24
5.4	Sicherheitsrisiken.....	25
6	Durchführung Stakeholderanalyse.....	27
7	Erstellung der Konzepte	29
7.1	Dezentrale Auslegung der Antriebe.....	29
7.2	Dezentrale Auslegung der IOs.....	30
7.3	Basiskonzept Equipments	31
7.3.1	Konzept 1 - Ist-Stand	31
7.3.2	Konzept 2 - FU und IO on-board	32
7.3.3	Konzept 3 - Binder Standard	33
7.3.4	Konzept 4 - FU/IO/PLC on-board	34
7.3.5	Konzept 5 - PLC und I/Os im FU	34
7.4	Konzept HMI-Hardware	35
7.4.1	Konzept 1 - IST-Stand - Bedienstationen	35
7.4.2	Konzept 2 - Fixe Bedienstationen auf Equipments.....	36

7.4.3	Konzept 3 - Mobile Bediengeräte	37
8	Durchführung der Nutzwertanalyse.....	38
8.1	Kriterien festlegen	38
8.2	Bewertung von Gewichtung und Erfüllungsgrad	38
8.3	Probleme bei der Bewertung von Gewichtung und Erfüllungsgrad.....	42
8.4	Entscheidungsfindung auf Basis der Nutzwertanalyse	42
9	Detailausarbeitung des Konzepts	44
9.1	Detailausarbeitung - Antriebe	44
9.1.1	Lieferantenauswahl FU	44
9.1.2	Optionsbaugruppen Frequenzumrichter	46
9.2	Detailausarbeitung - HMI	48
9.3	Automation Overview.....	49
10	Kostenvergleich.....	52
11	Umsetzung im Testaufbau	54
12	Ergebnisse und Ausblick.....	56
12.1	Ergebnisse	56
12.2	Ausblick und weitere Schritte.....	56
	Literaturverzeichnis	59
	Abbildungsverzeichnis.....	62
	Tabellenverzeichnis.....	64
	Abkürzungsverzeichnis.....	65

1 EINLEITUNG

In dieser Arbeit wird die Automatisierung einer Ballenlinie dezentral ausgelegt. Die Ballenlinie ist ein Teil einer Zellstoffproduktionsanlage, der sich aus der Transfer Storage Area und der Ballenlinie zusammensetzt.

In Zellstoffproduktionsanlagen wird aus Holz Zellstoff hergestellt. Dafür wird Holz mithilfe von chemischen Verfahren zu einem Zellstoffgemisch, dem Pulp verarbeitet. Der Pulp wird anschließend getrocknet und zu Zellstoffballen geformt. Diese Zellstoffballen werden anschließend verwendet, um beispielsweise Papier herzustellen.

Im folgenden Kapitel wird die Ballenlinie vorgestellt, welche der letzte Abschnitt einer solchen Anlage ist. Anschließend werden die Probleme mit der derzeitigen Umsetzung der Anlage erörtert und Zielsetzungen für die Arbeit vorgestellt.

1.1 Ballenlinie

Das Bale Finishing ist ein Abschnitt einer Zellstoffproduktionsanlage. Dieser Bereich beginnt, nachdem der Zellstoff getrocknet wurde und reicht bis zum Abtransport, der fertigen Zellstoffballen. Abbildung 1 zeigt diesen Bereich der Anlage.

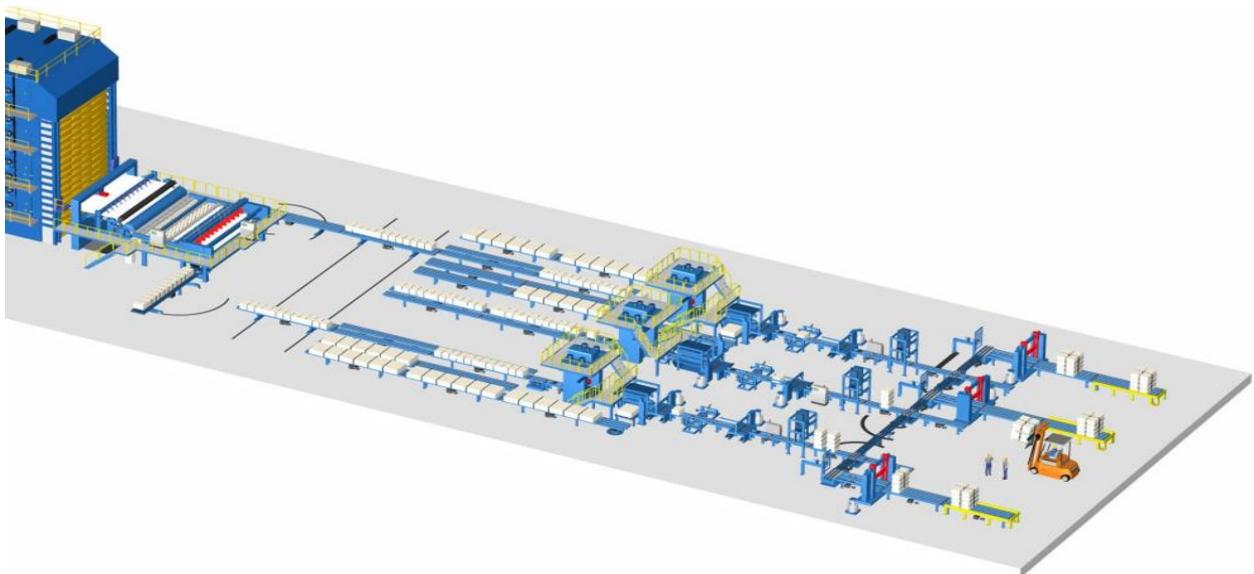


Abbildung 1: Darstellung Ballenlinie, Quelle: Andritz AG.

Nachdem der getrocknete Zellstoff den Trockner verlässt, wird die Zellstoffbahn vom Cutter der Länge und der Breite nach geschnitten. Die so entstehenden Blätter werden zu Ballen gestapelt. Diese Ballen wiegen 250 kg. Die Ballen werden über die Transfer- und Storage Area weitertransportiert oder dort vorübergehend gelagert. Der Teil, der weiterbefördert wird, wird anschließend in der Ballenlinie gewogen, gepresst, verpackt, bedruckt und zu Units gestapelt. Diese Units werden mit Staplern im Warehouse eingelagert.

Die Automatisierung der Ballenlinie ist zentralisiert ausgelegt. Die Frequenzumrichter aller Motore sind in Schaltschränken, den Motor Control Centers (MCC) zusammengefasst. Diese stehen in eigenen E-

Räumen. Auch die Datenaufnahme erfolgt zentral über Remote I/O (RIO) Schränke und die Bedienung der gesamten Anlage erfolgt an fixierten Bedienstationen mittels Bedienpanels. Auch die Steuerung erfolgt über eine zentrale SPS.

1.2 Problemstellung

Die zentrale Auslegung der Automatisierung der Produktionsanlage weist einige Nachteile auf.

Durch die Fertigung der MCCs fallen zusätzliche Kosten an und auch das Engineering der Schaltschränke bringt einen Mehraufwand, der bei jedem Projekt einzuplanen ist. Des Weiteren müssen die MCCs vorab in Factory Acceptance Tests (FAT) geprüft werden.

Diese zentrale Lösung benötigt außerdem einen E-Raum in dem die MCCs abgestellt werden. Von diesem E-Raum und von den RIOs müssen Kabel durch die gesamte Anlage zu den einzelnen Equipments der Ballenlinie verlegt werden. Die Kabelkanäle sind platzintensiv und die langen Leitungen erzeugen zusätzliche Kosten.

Ein weiterer Nachteil ist, dass die Maschine nicht vollständig funktionsfähig zum Kunden geliefert werden kann, da erst während der Inbetriebnahme die Mechanik mit der Elektronik, Hydraulik, Pneumatik und Antriebstechnik zu einer Maschine zusammengefügt werden. Diese Installationen sind während der Inbetriebnahme teurer und das Equipment kann nicht vorab getestet werden. Aufgrund der fehlenden Vorabtests können während der Inbetriebnahme Komplikationen auftreten welche im Werk einfacher und kostengünstiger auszubessern gewesen wären.

Unabhängig von der zentralen Auslegung der Hardware sind auch die Bedienerpanels zentral. Dies ist problematisch, da man bei auftretenden Fehlern häufig nicht in den Bereich einsehen, kann in dem der Fehler aufgetreten ist.

Die zentrale Auslegung der Anlage bringt also nicht nur kostentechnische Nachteile mit sich, sondern auch anwendungsbezogene.

1.3 Zielsetzung

Aufgrund der genannten Problemstellung ergibt sich folgende Zielsetzung.

Die Ballenlinie soll dezentral ausgelegt werden. Um das zu erreichen, werden mehrere Konzepte aufgestellt und anschließend verglichen. Das dezentrale Konzept soll das Equipment vorab testbar machen und die Zeiten während der Inbetriebnahme und der Montage kürzen, um die Kosten des Produkts zu senken. Dies soll durch einen modularen Aufbau der einzelnen Maschinen umgesetzt werden. Die Konzepte weisen einen unterschiedlichen Grad der Modularisierung auf. Außerdem soll evaluiert werden, ob eine dezentrale Steuerung der Ballenlinie Vorteile bringt.

Mithilfe von Modellen, die zu einer richtigen Entscheidungsfindung beitragen, soll das geeignetste Konzept gewählt und anschließend im Detail ausgearbeitet werden.

Das ausgearbeitete Konzept soll in einem Versuchsaufbau getestet werden. Das Ergebnis soll ein Konzept sein, das den Anforderungen entspricht und so weit detailliert ist, dass es über den Vertrieb angeboten werden kann.

2 SYSTEMATISCHE ENTSCHEIDUNGSFINDUNG

Im Rahmen von Entwicklungsprojekten müssen fortlaufend Entscheidungen getroffen werden. Ein Großteil dieser Entscheidungen wird intuitiv getroffen, ohne lange zu überlegen. Entscheidungen, die jedoch viele Interessensgruppen betreffen oder kostenintensiv sind, bedürfen oft präziseres Vorgehen und müssen transparent und im Nachhinein nachvollziehbar sein. In diesem Kapitel wird beschrieben, wie man Entscheidungen trifft, um vorgegebene Ziele möglichst exakt umzusetzen und welche Werkzeuge man dafür verwenden kann.

2.1 Entscheidungstheorie

In der Entscheidungstheorie werden zwei Teilgebiete unterschieden:

Die deskriptive Entscheidungstheorie, sie beschreibt weshalb Entscheidungen in der Realität getroffen werden und die präskriptive Entscheidungstheorie, welche beschreibt wie Entscheidungen möglichst rational getroffen werden können.¹

In der **präskriptiven Entscheidungstheorie** steht Rationalität im Mittelpunkt. Es soll das Verhalten herausgearbeitet werden, mit dem man auf bestmöglichem Weg das vorgegebene Ziel erreicht. Dazu können vereinfachte Modelle hinzugezogen werden. Die unterschiedlichen Alternativen werden in Hinsicht auf das Ziel bewertet.²

In der **deskriptiven Entscheidungstheorie** wird untersucht welche Entscheidungen getroffen worden sind und weshalb sie auf diese Art entschieden wurden. Die deskriptive Entscheidungstheorie basiert auf empirischen Beobachtungen. Entscheidungen werden genau analysiert, um Zusammenhänge und mögliche Muster zu erkennen. Durch die so gewonnenen Einsichten werden Hypothesen aufgestellt. Diese Hypothesen werden durch Experimente bewiesen und anhand ihrer wird eine Erklärung definiert, weshalb es zu einer bestimmten Entscheidung gekommen ist.

Probierte man jedoch in der deskriptiven Entscheidungstheorie Modelle aus der präskriptiven Entscheidungstheorie heranzuziehen, fiel auf, dass die Ergebnisse nicht übereinstimmten. Selbst, wenn in präskriptive Modelle Faktoren wie persönliche Einflüsse eingearbeitet wurden, gab es keine Übereinstimmung. Präskriptive Modelle sind daher nicht geeignet, um die Realität abzubilden.³

Diese Tatsache zeigt, dass es selbst unter Zuhilfenahme von Modellen schwierig ist ideale Entscheidungen zu treffen. Grund dafür ist, dass jede Entscheidungsalternative und die Wechselwirkungen, in denen sie stehen von einer Vielzahl an unterschiedlichen Gesichtspunkten betrachtet werden können.

¹ Vgl. Laux/Gillenkirch/Schenk-Mathes (2012), S. 4.

² Vgl. Rommelfanger/Eickemeier (2002), S. 3 f.

³ Vgl. Rommelfanger/Eickemeier (2002), S. 4.

Alternativen

Um eine Entscheidung zu treffen, müssen mindestens zwei Alternativen existieren. Eine dieser Alternativen kann auch der Status Quo darstellen. Nach Abwägung der Möglichkeiten, kann zur Erkenntnis gekommen werden, dass der aktuelle Stand, zum gegebenen Zeitpunkt die passendste Umsetzung ist. Daher soll im Rahmen von Analysen der Ist-Stand immer als Alternative zum Vergleich herangezogen werden.

Eine Alternative, kann aus mehreren Teilen bestehen. So gibt es bei einer Investition beispielsweise meist mehrere kleinere Projektteile, die im zum Schluss zu einem Gesamtkonzept zusammengefügt werden. Bei Entscheidungen gibt es eine begrenzte Anzahl an Alternativen. Diese sind zum Beispiel durch rechtliche Bestimmungen, Kosten oder technische Möglichkeiten beschränkt.⁴

2.2 Stakeholder

Als Stakeholder werden Interessensgruppen bezeichnet, welche Interesse am Verlauf des Projekts haben, aktiv am Projekt mitarbeiten oder von den Auswirkungen des Projekts betroffen sind. Durch eine Stakeholderanalyse können Chancen und Risiken frühzeitig erkannt und darauf eingegangen werden.⁵

Die Stakeholder stellen keine homogene Masse dar. Sie verfolgen oft unterschiedliche Interessen und müssen daher getrennt voneinander beurteilt werden.

Stakeholder können aufgeteilt werden in interne und externe Stakeholder und je nachdem ob sie vertragliche Partner*innen sind in direkte und indirekte Stakeholder. Entsprechend des Einflusses den sie auf das Projekt haben werden sie in primäre und sekundäre Stakeholder gegliedert.⁶

Stakeholderanalyse

Die Stakeholderanalyse lässt sich in drei Teilbereiche gliedern. Im ersten Teil, der Datenerhebung, werden potenzielle Stakeholder auffindig gemacht. Ihre Erwartungen und Ziele werden analysiert und die Stärke ihres Einflusses geschätzt. Im zweiten Teil, der Analyse wird die Wirkung die, die Stakeholder auf das Projekt haben geprüft und umgekehrt, die Wirkung des Projekts auf die Stakeholder. Im letzten Schritt kommt es zur Auswertung der Daten. Es werden geeignete Ziele formuliert und Maßnahmen definiert. Dieser Ablauf ist in Abbildung 2 zu sehen.⁷

Im Zuge der **Datenerhebung** können die Stakeholder durch ein Brainstorming identifiziert werden. Dafür wird überlegt, wer Interesse daran hat, dass das Projektziel erreicht wird. Des Weiteren gehören die Abteilungen definiert, die aktiv am Projekt mitarbeiten oder von den Änderungen, die es durch das Projekt gibt, betroffen sind. Eine weitere Gruppe an Personen, die relevant für das Projekt ist, ist jene, welche zusätzliches Wissen beitragen kann. Außerdem muss definiert werden, von wem Einwilligungen eingeholt werden müssen, um Entscheidungen zu treffen. Anschließend sollen die Erwartungshaltungen der

⁴ Vgl. Laux/Gillenkirch/Schenk-Mathes (2012), S. 5 f.

⁵ Vgl. Lang (2010), S. 2 f.

⁶ Vgl. Krips (2017), S. 2 f.

⁷ Vgl. Krips (2017), S. 11 f.

ermittelten Stakeholder erfasst werden. In diesem Schritt ist es von Vorteil die Stakeholder selbst einzubinden. Im Anschluss werden die Erwartungshaltungen unterschiedlich gewichtet, je nach Einfluss des jeweiligen Stakeholders.⁸

Während der **Analyse** wird beurteilt welche Strategien die Stakeholder verfolgen, soweit dies möglich ist. Außerdem wird geprüft, ob es Beziehungen zwischen den Stakeholdern gibt.⁹

Im letzten Schritt, der **Auswertung der Daten**, wird geklärt wie mit den Daten, die während der Analysephase gesammelt wurden, fortgefahren wird. Es wird eine Strategie erstellt. Diese Strategie ist von der Zielsetzung für das Projekt abhängig. Ist nur Projektdurchsetzbarkeit als Ziel festgelegt, bedeutet das, dass die Strategie nur die Mindestanforderungen erfüllen muss, mit der das Projekt umsetzbar ist. Existiert als Zielvorgabe jedoch auch eine Projektakzeptanz, so muss auf die Anforderungen der Stakeholder genau eingegangen werden.¹⁰

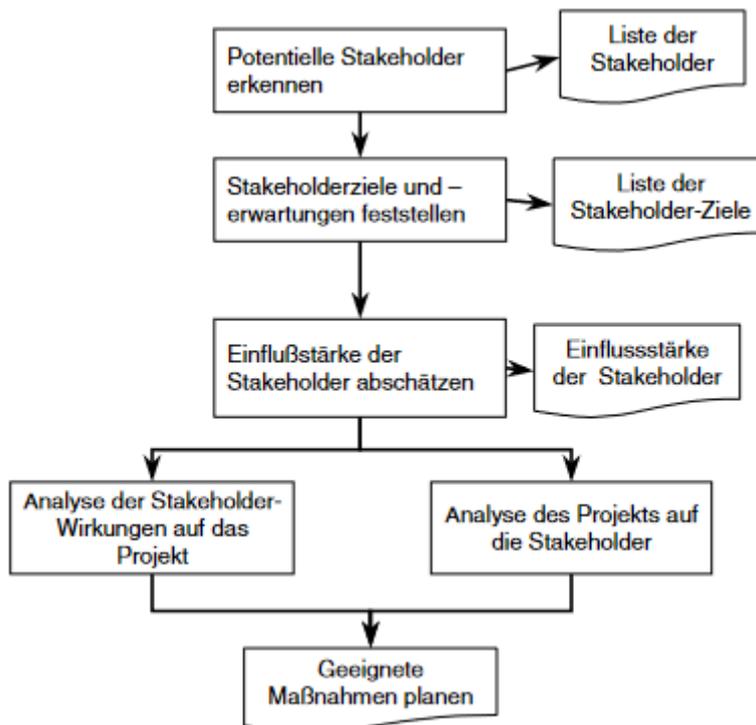


Abbildung 2: Ablauf der Stakeholderanalyse, Quelle: Drews/Hillebrand (2010), S. 188.

2.3 Risikomanagement

Einen besonderen Faktor in der Entscheidungsfindung stellen mögliche Risiken dar. Risikomanagement ist daher ein wichtiger Bereich in jedem Projekt. Es dient dazu Unsicherheiten zu bewerten und dadurch eine qualitativ hochwertige Entscheidungsfindung zu ermöglichen.

⁸ Vgl. Drews/Hillebrand (2010), S. 189 f.

⁹ Vgl. Krips (2017), S. 12.

¹⁰ Vgl. Krips (2017), S. 29.

Risikoanalysen helfen dabei Risiken zu definieren und zu bewerten und Erhöhen dadurch die Rationalität der Entscheidung. Sie sollen nicht nur zu Beginn eines Projekts durchgeführt werden, sondern auch bei Entscheidungen im Laufe des Projekts berücksichtigt werden.¹¹

Das Risiko wird meist von zwei Komponenten beschrieben. Zum einen von den Konsequenzen, welche ein eintreffendes Ereignis mit sich bringt. Zum anderen von der Wahrscheinlichkeit mit welcher dieses Ereignis eintrifft.¹²

Wichtig in der Risikoanalyse ist, dass alle Parteien, die ein Risiko tragen in den Evaluierungsprozess der Risiken miteingebunden sind. Die Wahrnehmung unterschiedlicher Risiken hängt davon ab, welchen Bezug man zum Thema hat, weshalb die Höhe des Risikos je nach Betrachtung unterschiedlich eingestuft wird.¹³

Zu unterscheiden sind externe und interne Risikoparameter. Zu externen Parametern zählen beispielsweise das soziale, kulturelle, technologische und politische Umfeld, sowie Trends und externe Stakeholder. Diesen externen Parametern stehen die internen Parameter gegenüber. Dazu zählen beispielsweise die interne Organisation, Ziele, Strategien, Ressourcen (Knowhow, Technologien, Prozesse, etc.), interne Stakeholder, Kultur der Organisation, Standards und vertragliche Beziehungen.¹⁴

Externe Parameter werden von der Geschäftsführung und dem kaufmännischen Bereich betrachtet, während interne Parameter von der internen Projektleitung berücksichtigt werden.¹⁵

Im Fall der Dezentralisierung der Ballenlinie wurden externe Risiken vom Management wahrgenommen und ein Projekt gestartet in welchem das Konzept der Ballenlinie überarbeitet werden soll. Im Laufe des Projekts wurden vom internen Projektmanagement Risiken immer wieder neu beurteilt, um Entscheidungen zum weiteren Verlauf des Projekts zu treffen.

Es gibt unterschiedliche Methoden der Risikoanalyse. Man kann sie in Kollektionsmethode und Suchmethoden einteilen.

Die **Kollektionsmethoden** dienen dazu Risiken, welche bereits bekannt sind, beispielsweise aus vorgehenden Projekten zu sammeln. Bei diesen Methoden kommt es noch zu keiner Bewertung der Risiken, sondern es wird ein Ausgangspunkt für Risikoanalysen geschaffen. Zu den Kollektionsmethoden zählen beispielsweise Checklisten, SWOT-Analysen, Interviews und Risiko-Identifikations-Matrizen.

Die **Suchmethoden** werden eingesetzt, um noch nicht identifizierte Risiken zu beurteilen. Man unterscheidet hier analytische Methoden und Kreativitätsmethoden. Analytische Methoden helfen dabei unbekannte Risiken zu finden. Einige der Methoden kommen ursprünglich aus dem Bereich des Qualitätsmanagements, da dieses viele Überschneidungen mit dem Risikomanagement aufweist. Zu

¹¹ Vgl. Wieben (2017), S. 2.

¹² Vgl. ISO 31000 (2009), S. 1.

¹³ Vgl. Raupp (2012), S. 27.

¹⁴ Vgl. ISO 31000 (2009), S. 3.

¹⁵ Vgl. Wieben (2017), S. 8.

diesen Methoden zählen beispielsweise die Daten-Fehlerbaumanalyse, die Hazard and operability studies (HAZOP), die Fehler-Ursachen Analyse oder die Bow-tie Analysis. Kreativitätsmethoden bedienen sich kreativer Prozesse. Kreative Prozesse haben den Vorteil, dass sie anregen neuartige Denkansätze zu finden, wodurch weitere Risiken herausgearbeitet werden können. Zu diesen Methoden zählen zum Beispiel die Morphologische Analyse, Brainstorming, die Stochastische Szenarioanalyse oder die Flip-Flop Technik.¹⁶

2.4 Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist ein Mittel der systematischen Entscheidungsfindung. Eine Nutzwertanalyse wird herangezogen, wenn es eine Vielzahl an Kriterien gibt, die Einfluss auf die Entscheidung haben. Die Multikriterienbewertung bietet die Möglichkeit komplexe Zusammenhänge zwischen den Alternativen einfach darzustellen und Differenzen sichtbar zu machen. Ein Gewichtungssystem weist den einzelnen Kriterien eine unterschiedlich starke Gewichtung zu. Diese Gewichtung hat einen Einfluss auf die Gesamtbewertung einer Alternative.¹⁷

In dem Bewertungssystem wird jedem Kriterium ein Gewichtungskriterium zugewiesen. Jedes Kriterium wird mit einem Erfüllungsgrad bewertet, der angibt, wie sehr es bei der jeweiligen Alternative den Zielsetzungen nachkommt. Die Kriterien werden in Gruppen zusammengefasst. Im Fall von Kosten gibt es mehrere Unterpunkte die einzeln zu bewerten sind, wie zum Beispiel Entwicklungskosten und Hardwarekosten.¹⁸

Ein Vorteil der Nutzwertanalyse ist, dass harte und weiche Kriterien in einem Modell bewertet werden können. Weiche Kriterien sind nicht messbar, sie sind subjektiv und gefühlsbetont. Dazu zählen beispielsweise Kundenakzeptanz und Handhabung. Harte Kriterien sind messbar und daher objektiv bewertbar. Zu den harten Kriterien zählt beispielsweise jede Art von Kosten.¹⁹

2.4.1 Erstellung der Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse ist ein effizientes Werkzeug, um eine aussagekräftige Entscheidungshilfe zu erstellen. Die Erstellung selbst fordert jedoch genaues und überlegtes Vorgehen.

Entscheidungsalternativen definieren

Im ersten Schritt werden die Entscheidungsalternativen festgelegt. Mit unterschiedlichen Methoden können Ideen gesammelt werden. Für die Nutzwertanalyse werden diese Konzeptideen auf die wesentlichen Alternativen reduziert.

¹⁶ Vgl. Romeike (2018), S. 55 - 58.

¹⁷ Vgl. Zangemeister (1976), S. 45 f.

¹⁸ Vgl. Schuh/Klappert (2011), S. 328.

¹⁹ Vgl. Drews/Hillebrand (2010), S. 120.

Kriterien definieren

Um die Kriterien zu definieren ist zu überlegen, welche Aspekte Einfluss auf die Entscheidungsalternativen ausüben. Dabei wird ein breites Spektrum an Aspekten in Betracht gezogen: technische, soziale und wirtschaftliche. Die Kriterien können nach diesem Prinzip in Kriteriengruppen zusammengefasst werden.

Mithilfe der Entscheidungsalternativen und der Kriterien wird eine Entscheidungsmatrix erstellt. Diese ist in Tabelle 1 zu sehen.

Gewichtung der Kriterien

Jedes Kriterium wird bewertet. Es wird angegeben, wie groß der Einfluss des Kriteriums in Hinsicht auf die Zielvorgabe ist. Die Gewichtung erfolgt in Prozent und die Summe aller Gewichtungen muss 100 ergeben.

Der Wert der Gewichtung wird in die Entscheidungsmatrix eingetragen. Sowohl die Gewichtung als auch der Erfüllungsgrad wird von Expert*innen ermittelt.

Ermittlung des Erfüllungsgrads

Der Erfüllungsgrad gibt an, wie sehr die Alternativen tatsächlich den Zielvorgaben entsprechen, in Hinblick auf das jeweilige Kriterium. Es wird ein Wert zwischen eins und zehn bestimmt und in die Entscheidungsmatrix eingetragen.

Gesamtnutzenwert berechnen

Im Anschluss wird der Nutzwert berechnet. Dazu wird der Erfüllungsgrad mit der Gewichtung multipliziert. Die so entstehenden Werte, werden addiert und ergeben den Gesamtnutzenwert. Die Gesamtnutzenwerte der unterschiedlichen Alternativen werden miteinander verglichen.²⁰ In Tabelle 1 ist ein Beispiel einer Entscheidungsmatrix einer Nutzwertanalyse zu sehen.

Kriterien	Gewichtungsfaktor	Konzept 1	Konzept 2
Kundenzufriedenheit	25%	10	4
Kosten	50%	3	9
Umsetzbarkeit	25%	2	10
∑ Summe	100%	2,75	3,75

Tabelle 1: Beispiel Tabelle Nutzwertanalyse, Quelle: Eigene Darstellung.

2.4.2 Häufige Fehler der Nutzwertanalyse

Tabelle 1 zeigt einen häufigen Fehler der Nutzwertanalyse: Eine falsche Gewichtung der Kriterien. Vergleicht man die Gesamtnutzenwerte schneidet „Konzept 2“ deutlich besser ab. Die Kundenzufriedenheit

²⁰ Vgl. Müller (2008), S. 84 ff.

dieses Konzepts wird jedoch nur mit „4“ bewertet, wodurch es am Markt sehr viel schlechter agieren würde. Den Kosten wurde in diesem Fall eine zu hohe Gewichtung zugeordnet.

Die Nutzwertanalyse soll dabei helfen objektivere Entscheidungen zu treffen, indem durch eine genaue Analyse das Bauchgefühl eliminiert wird. Jedoch ist es nicht möglich subjektive Ansätze gänzlich zu entfernen, da die Gewichtung, die Ermittlung des Erfüllungsgrads aber auch die Auswahl von Kriterien immer von Personen durchgeführt wird, die in den Prozess involviert sind.²¹

Ein weiterer Punkt, bei dem häufig Fehler unterlaufen sind, ist die Bewertung der Kosten. In der Regel bedeuten niedrige Kosten einen hohen Erfüllungsgrad. Teilnehmende Personen bewerten niedrige Kosten jedoch oft mit einem ebenfalls niedrigen Erfüllungsgrad.

Vieles kann außerdem nur geschätzt werden, da eine Ungewissheit besonders, bei Ereignissen, die in der Zukunft liegen existiert. Derartige Ungenauigkeiten können mit einer Sensitivitätsanalyse verringert werden.²²

Bei einer Sensitivitätsanalyse wird bestimmt, wie empfindlich Kennzahlen auf eine Änderung von Eingangsparameter reagieren. Dafür werden einzelne Parameter geändert und die Auswirkung auf die Endergebnisse betrachtet.²³

In diesem Kapitel wurden unterschiedliche Werkzeuge vorgestellt, mit denen Entscheidungen aufgearbeitet und getroffen werden können. Im folgenden Kapitel wird definiert was ein modularer Aufbau von Maschinen ist und welche Änderungen und Vorteile mit Modularität einhergehen.

²¹ Vgl. Müller (2008), S. 87.

²² Vgl. Hall (1962), S. 268 f.

²³ Kausche (2018), S. 71.

3 MODULARITÄT DES EQUIPMENTS

Durch Modularisierung werden komplexe Gesamtsysteme in einzelne Module gegliedert. Diese Module werden anschließend wieder zu einem vereinfachten Gesamtsystem zusammengefügt. Die einzelnen Module sind aus einer Vielzahl an Komponenten bestehend, die in einer Topologie miteinander verbunden sind.²⁴

Im Kontext von Maschinen lässt sich ein Modul demnach wie folgt definieren:²⁵

- Ein Modul ist ein Teil einer Gesamtstruktur.
- Ein Modul hat eine mechanische, eine kommunikative und eine energetische Schnittstelle.
- Das Modul kann ohne weitere Anpassungen in der Struktur gegen ein funktionell gleiches System ersetzt werden.

In diesem Kapitel werden die unterschiedlichen Aspekte des modularen Aufbaus von Maschinen erörtert.

3.1 Flexibilität und Modularisierung

Ein modularisierter Standard soll Vorteile bringen, indem der Aufbau eines Equipments gleichbleibend ist. Ein gleichbleibendes System ist in einer Branche, die so sehr im Wandel ist wie die Automatisierung oft nachteilig. Gerade in der Automatisierung ist gleichbleibende Technologie nicht wirtschaftlich. Umrüstungen, Erweiterungen, Modernisierungen gehören zum Alltag. Zusätzlich sollen Maschinen flexibel umsetzbar sein und auf Kundenwünsche muss eingegangen werden können. Das eine schließt das andere nicht aus. Indem man wichtige Richtlinien der Modularisierung befolgt, kann man Abweichungen vom Standard gut in das Gesamtkonzept integrieren.²⁶

Optimaler Standardisierungsgrad

Es ist wichtig den optimalen Standardisierungsgrad zu wählen. Ist es nicht möglich jedes Detail eines Prozesses zu standardisieren, sollen dennoch die Teilbereiche, bei denen eine Standardisierung möglich ist, genau definiert werden. Es soll bewusst festgelegt werden bis zu welchem Grad eine Standardisierung sinnvoll ist. Ein klar festgelegter Standard, der auch den Spielraum der Flexibilität klar definiert bietet einen roten Faden. Diese Struktur hat auch Auswirkungen auf die Angebotsqualität, Einkauf, Entwicklung und Fertigung.²⁷

Ganzheitliches Konzept entlang der gesamten Wertschöpfungskette

Um in all den oben genannten Bereichen eine Verbesserung zu erzielen, müssen auch all diese Bereiche im Standard berücksichtigt werden. Eine Standardisierung, die nur eine Disziplin betrifft, ist nicht

²⁴ Vgl. Schmertosch/Krabbes (2018), S. 46.

²⁵ Vgl. Schmertosch/Krabbes (2018), S. 47.

²⁶ Vgl. Dispan (2019), S. 4.

²⁷ Vgl. McKingsley&Company (2014), S. 60.

zielführend. Zusätzlich zu den Produkten müssen auch die Services modular standardisiert werden. Dadurch werden in allen Bereichen Ressourcen gespart.²⁸

Bepreisungsansatz für nicht standardmäßige Lösungen

Im Verkauf neigt man dazu auf Kundenwünsche einzugehen, um Projekte zu gewinnen. Diese Änderungen gehen jedoch häufig mit erhöhten Entwicklungskosten einher. Um dem entgegenzuwirken, müssen alle Schnittstellen klar definiert und standardisiert werden. Durch das Definieren von unterschiedlichen bepreisten Varianten, die vom Standard abweichen, kann Flexibilität geboten werden ohne zu hohe Zusatzkosten zu generieren. Angebote werden dadurch auch für Kund*innen attraktiver, da sie transparenter sind und die Kosten der einzelnen Module gering bleiben.²⁹

Strukturen und Prozesse

Um einen flexiblen Standard umzusetzen, müssen intern die richtigen Strukturen gegeben sein. Dafür können eigene Positionen errichtet oder Personal nachgeschult werden. Es ist wichtig diese Denkansätze in jedem Prozess zu integrieren. Dadurch können Standardprozesse von Kundenwünschen getrennt umgesetzt werden.³⁰

3.2 Engineering Aufwand

Um ein Equipment modular aufzubauen, darf es nicht in den einzelnen Engineering-Disziplinen, sondern muss als gesamte Einheit betrachtet werden. Auf dem Equipment ist demnach jede beteiligte Engineering-Disziplin vertreten, die in einem System vorkommt. Der Abstimmungsaufwand zwischen den Abteilungen Mechanik, Elektrik, Software und Pneumatik nimmt demnach zu.

Für die Entwicklung einer modularen Maschine benötigt man daher Fachwissen in allen Disziplinen oder zumindest eine ausgezeichnete interdisziplinäre Kommunikation. Die modulare Bauweise hat somit auch das Anforderungsprofil an Mitarbeitende geändert. Vor der Einführung von modularen Bauarten war der Aufgabenbereich von Entwickler*innen stärker auf Teilbereiche spezialisiert. Heute muss für die Entwicklung der Equipments ein Basiswissen aller Bereiche vorhanden sein. Das Engineering bei modularen Aufbauten ist in der Entwicklungsphase daher komplexer.

Im Detail-Engineering ist der Aufwand pro Equipment jedoch deutlich geringer. Indem das Equipment standardisiert wird, wird eine gleichbleibende Qualität gesichert.³¹

²⁸ Vgl. Wyman (2016), S. 1.

²⁹ Vgl. Dispan (2019), S. 5.

³⁰ Vgl. McKingsley&Company (2014), S. 62.

³¹ Vgl. Dispan (2019), S. 36 f.

Um Standards effizient umzusetzen, müssen strukturierte Methoden zur Entwicklung und zum Testen angewandt werden. Die Werkzeuge zur Umsetzung sollen geeignet sein, dazu zählen auch Standardprogrammiersprachen.³²

Je komplexer eine Maschine ist, desto mehr Vorteile bietet eine modulare Auslegung. In Abbildung 3 ist zu sehen, wie sich der Aufwand des Engineerings bei modularen Equipments bei zunehmender Komplexität verringert.

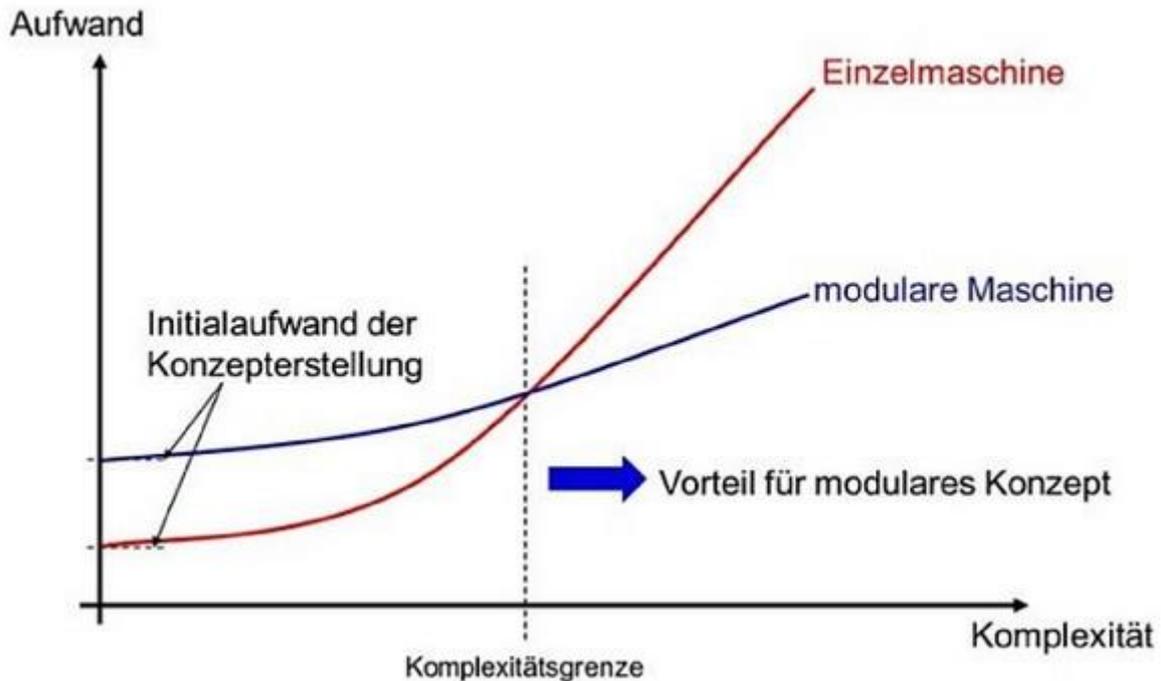


Abbildung 3: Modulare Maschinen erzeugen bei hoher Komplexität einen niedrigeren Arbeitsaufwand, Quelle: Schmertosch/Krabbes (2018), S. 25.

3.3 Modulares Softwarekonzept

Ein modularer Softwareaufbau kann unterschiedlich aussehen. Je nach Anwendung, ist die passende Art von Modultyp zu wählen.

Von den drei Formen von Modulen sind zwei Arten in der Software der Ballenlinie umgesetzt.

Autonome Module

In autonomen Modulen ist die gesamte Automatisierungstechnik, die eine Maschine benötigt, direkt am Equipment. Alle benötigten Daten, wie Daten der Sensorik, beispielsweise zur Positionsermittlung, Safetydaten, Diagnosedaten und die HMI-Bedienung werden lokal eingelesen. In diesem Fall ist eine gänzlich modularisierte Software möglich. Ein autonomes Modul bietet Chancen aber birgt auch Risiken. Ist die Software gänzlich gekapselt, so kann sie für Außenstehende eine Blackbox sein. Wenn die komplette

³² Vgl. Schmertosch/Krabbes (2018), S. 20.

Anwendung eine Blackbox darstellt, ist das Zusammenspiel unterschiedlicher Parteien im Engineering-Prozess kompliziert, sofern die Schnittstellen nicht genau genug beschrieben sind.

Ob ein autonomes Modul sinnvoll ist, muss direkt mit der Auslegung der Hardware entschieden werden.

Eine gänzlich autonome Auslegung ist im Fall der Ballenlinie nicht möglich, da bestimmte Anwendungen nicht direkt in die Maschine integriert werden können, wie in Kapitel 7.3.4 beschrieben wird.³³

Integrierbare Module

Hier wird von einem Gesamtsystem ausgegangen, in das Teile integriert werden können. Das Equipment ist modular aufgebaut und über einen Feldbusknoten mit dem Gesamtsystem verbunden. Die Trennung der Software in einzelne integrierbare Module ist jedoch sehr fehleranfällig, wenn sie nicht von Beginn an richtig aufgebaut ist. Jedes einzelne Modul muss klar definiert und sauber getrennt werden. Dafür können Funktionsbausteine, Makrostrukturen und Multitasking-Betriebssysteme genutzt werden.³⁴

Diese Art des Aufbaus wird bei einzelnen, komplexen Equipments der Anlage bereits umgesetzt.

Modulare Module

In dieser Form gibt es für die einzelnen eingebundenen Maschinen eigene Applikationsmodule. In diesen Applikationsmodulen befinden sich alle spezifischen Anwendungen für eine Maschine, wie der Programmcode der Funktionalitäten und die Antriebstechnik. Alle übergeordneten Funktionen sind in eigenen Applikationsmodulen zusammengefügt.³⁵

Auf diese Art ist ein großer Teil der Ballenlinie umgesetzt. Es wird eine zentrale Steuerung verwendet, die Software ist aufgrund des modularen Aufbaus dennoch flexibel und anpassungsfähig.

3.4 Modulare Automatisierung

In der Informationstechnologie gibt es für ein modulares Konzept den Begriff „Plug and Play“. „Plug and Play“ bedeutet, dass ein Gerät als eine Einheit geliefert wird, die betriebsbereit ist. In Anlehnung daran gibt es für Fertigungssysteme den Begriff „Plug and Produce“. Darunter versteht man, dass Maschinen ohne das Eingreifen von Experten einfach in Betrieb genommen werden können. Sie müssen nur angeschlossen werden und sind sofort betriebsfähig.³⁶

Eine mögliche Umsetzung stellt die Service-orientierter Architektur (SOA) dar. Eine SOA folgt den Prinzipien einer losen Kopplung. Das bedeutet, dass ein System erst bei Bedarf die Dienste abrufen, die es benötigt und diese nicht schon vorzeitig integriert sind. Dafür müssen die Dienste die eventuell benötigt werden jedoch abrufbar sein, indem sie in einem Verzeichnis integriert sind.³⁷

³³ Vgl. Schmertosch/Krabbes (2018), S 120.

³⁴ Vgl. Schmertosch/Krabbes (2018), S 121.

³⁵ Vgl. Schmertosch/Krabbes (2018), S 121.

³⁶ Vgl. Dürkop (2017), S. 13.

³⁷ Vgl. Melzer (2010), S. 11.

Dies würde für die Ballenlinie bedeuten, dass eine neue Anwendung einfach an das Gesamtsystem angeschlossen werden kann, ohne weitreichende Änderungen durchzuführen. Der Anschluss neuer Teilnehmer erfolgt über standardisierte Anschlüsse. Die einzelnen Schnittstellen müssen vor dem Einsatz nicht manuell parametrieren werden, sie müssen jedoch vor der Inbetriebnahme weiterhin orchestriert werden.³⁸

Ein weiteres Werkzeug, um Anlagen modular aufzubauen sind Multi-Agent Systeme (MAS). In einem MAS kommunizieren mehrere autonome Software-Agenten mit dem gleichen Ziel. Dies spricht bereits dafür, dass der Aufbau eines MAS genau geplant werden muss. In einem bestehenden System, in dem bereits viele Agenten vorhanden sind, die unterschiedliche Ziele verfolgen, ist die Implementierung aufwändig.³⁹

Sowohl MAS als auch SOA benötigen echtzeitfähige Kommunikation. Bei dezentraler Auslegung von Anlagen spielt daher die Wahl eines echtzeitfähigen Bussystems eine große Rolle.⁴⁰

Echtzeitfähigkeit

Die Definition für den Begriff *Echtzeit* ist laut DIN 44300:

„Unter Echtzeit versteht man den Betrieb eines Rechensystems, bei dem Programme zur Verarbeitung anfallender Daten ständig betriebsbereit sind, derart, dass die Verarbeitungsergebnisse innerhalb einer vorgegebenen Zeitspanne verfügbar sind. Die Daten können je nach Anwendungsfall nach einer zeitlich zufälligen Verteilung oder zu vorherbestimmten Zeitpunkten anfallen.“⁴¹

In der Ballenlinie wird Profinet genutzt, das echtzeitfähig ist.⁴²

Echtzeitfähige Systeme sind notwendig, da die Reaktionszeiten niedrig gehalten werden müssen.⁴³

Um die Reaktionszeiten weiter zu minimieren können intelligente Feldgeräte verwendet werden.⁴⁴

Entkopplung

Um dezentrale Konzepte umzusetzen werden Entkopplungen der Steuerungs- und Feldebene durchgeführt. Unter Entkopplung versteht man, dass eine einheitliche Programmierplattform verwendet wird, um die einzelnen Komponenten anzusprechen. Nur die Ansteuerung soll über gerätespezifische Treiber stattfinden. Zurzeit werden häufig Programme verwendet, die von Herstellern zur Verfügung gestellt werden.⁴⁵

³⁸ Vgl. Vogel-Heuser/Bauernhansl (2017), S. 63.

³⁹ Vgl. Dürkop (2017), S. 66.

⁴⁰ Vgl. Wolf (2018), S. 142.

⁴¹ Scholz (2005), S. 39.

⁴² Vgl. Pigan/Metter (2008), S. 46.

⁴³ Vgl. Scholz (2005), S. 29.

⁴⁴ Vgl. Schmertosch/Krabbes (2018), S. 182.

⁴⁵ Vgl. Dürkop (2017), S. 71.

Hardwareseitig können hierfür intelligente Feldgeräte verwendet werden. Diese sind direkt im Feld montiert und mit einer eigenen CPU versehen mit der sie einen Teil der Datenverarbeitung, der ansonsten erst von der PLC durchgeführt wird, bereits vorab auswerten. Die Feldgeräte sind nicht nur mit Prozessoren, sondern auch mit Bus-, oder anderen Schnittstellen, wie zum Beispiel von IO-Link ausgestattet.⁴⁶

Während intelligente Teilnehmer speziell für einen dezentralen Aufbau der Anlage von Vorteil sind, bergen sie auch Nachteile. Da die Anbieter*innen einen möglichst breiten Markt abdecken wollen, gibt es häufig viele Funktionen an den Feldgeräten und dementsprechend viele Parameter auszufüllen. Das Parametrieren der Geräte ist daher oft unübersichtlich und umständlich. Außerdem ist man bei gewissen Funktionen von bestimmten Anbieter*innen abhängig.⁴⁷

3.5 Sukzessive Modularisierung

Beginnt man ein Layout für die Automatisierung einer Produktionsanlage zu erstellen, gibt es zwei mögliche Ausgangsformen. Die erste nennt sich Greenfield und bedeutet, dass die Anlage von Grund auf neu errichtet wird. Dies ist der Idealfall. Die zweite Variante ist, dass ein bestehendes Layout als Basis dient. Diese Form wird auch Brownfield genannt. Bei Brownfield-Modularisierung, also einer schrittweisen Herangehensweise, existieren zusätzliche Herausforderungen.⁴⁸

In Abbildung 4 sind die unterschiedlichen Ansätze der Automatisierung, je nach vorhandenem System, zu sehen.

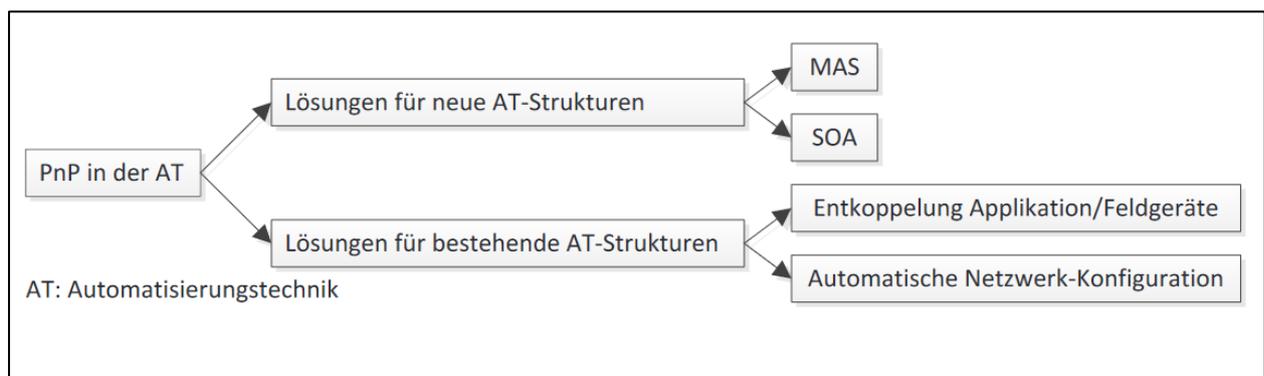


Abbildung 4: Gliederung der „Plug and Produce“ Ansätze, je nach den Automatisierungsstrukturen, Quelle: Dürkop (2017), S. 66.

Die Abbildung zeigt, dass im Fall von bestehenden Automatisierungs-Strukturen zum einen automatische Netzwerk-Konfigurationen und die Entkopplung von Applikationen angewandt werden kann um schrittweise ein „Plug and Produce“-System zu kreieren.

Im Fall der Ballenlinie handelt es sich demnach um eine sukzessive Modularisierung. Das aktuelle Automatisierungskonzept der Ballenlinie ist schon seit vielen Jahren im Einsatz. Es ist technisch

⁴⁶ Vgl. Früh/Schaudel/Urbas (2008), S.290.

⁴⁷ Vgl. Schmertosch/Krabbes (2018), S. 184.

⁴⁸ Vgl. Sommerville (2012), S. 276.

ausgereift, hat sich über Jahre bewährt und ist weltweit im Einsatz. Durch die Änderung des Konzepts wird ein Risiko eingegangen. Daher ist abzuwägen, ob eine sukzessive Modularisierung lohnt.

Eine **dezentrale Umsetzung ist dann möglich**, wenn geeignete Antriebssysteme gewählt werden. Zudem müssen die IOs die notwendige Reaktionszeit aufweisen.

Falls mit dezentralen Antrieben und dezentralen IOs die notwendige Reaktionszeit nicht erreicht werden kann, dann ist eine **dezentrale Umsetzung nicht möglich**.⁴⁹

Ein modularer Aufbau der Anlage kann auch nur teilweise möglich sein, wenn beispielsweise nur die Antriebe die erforderliche Reaktionszeit nicht erreichen können. Ob sukzessiv eine Modularität der Automatisierung erreicht werden kann, ist also von der verwendeten Hardware abhängig.⁵⁰

Da für das neue Konzept der Ballenlinie die Hardware für die Automatisierung neu gewählt wird, ist eine dezentrale Umsetzung der Anlage möglich.

In diesem Kapitel wurde bereits häufiger das Bussystem und die Kommunikation eines Systems angesprochen, daher sollen diese Punkte im folgenden Kapitel näher beschrieben werden.

⁴⁹ Vgl. Schmertosch/Krabbes (2018), S. 154 - 162.

⁵⁰ Vgl. Scholz (2005), S. 48.

4 KOMMUNIKATIONSMÖGLICHKEITEN

Die Kommunikation in der Ballenlinie erfolgt über Profinet. Im Laufe der Dezentralisierung soll auch evaluiert werden, ob ein Wechsel auf IO-Link sinnvoll ist. Im folgenden Kapitel wird daher Profinet und IO-Link näher beschrieben werden.

4.1 Profinet

Die Profinet-Technologie wurde von der Siemens AG und der Profibus-Nutzerorganisation entwickelt. Es basiert auf EthernetTCP/IP und besitzt daher alle Eigenschaften, die Ethernet aufweist, wie beispielsweise, dass es flexibel für alle Netztopologien ist.⁵¹ Außerdem liefert Profinet Diagnosedaten für alle das gesamte Netzwerk und kann sie komplette Topologie des Netzwerks darstellen. Gleich wie auch mit Profibus, können auch bei Profinet Sicherheitsanwendungen über Profisafe umgesetzt werden. Profinet ermöglicht Automatisierung in Echtzeit und macht dadurch schnelle Datenkommunikation über Ethernet-Netzwerke im industriellen Bereich möglich. Durch diese Eigenschaften kommt es in einer Vielzahl an Anwendungsgebieten zu Einsatz. Beispielsweise in der Antriebstechnik, der Fertigungstechnik, der Prozessautomatisierung und der Gebäudeautomatisierung.⁵² Für Profinet werden die Standards IEC 61158 und IEC 61784 verwendet.⁵³



Abbildung 5: Profinet Logo, Quelle: BROSA (2021), Online-Quelle [05.07.2021].

Profinet CBA (Component based Automation)

Der Grundgedanke von Profinet CBA ist, dass eine Anlage in viele autonom funktionierende Teilbereiche gegliedert werden, kann wodurch das Gesamtnetz überschaubarer ist. Dabei basiert Profinet CBA auf Ethernet-TCP/IP und ist daher nicht geeignet für Echtzeitanwendungen.⁵⁴

Mit Profinet CBA sollen mehrere intelligente Automatisierungskomponenten untereinander kommunizieren können und somit Aufgaben teilen. Daher handelt es sich dabei um ein komponentenbasiertes System, worauf auch der Name CBA, „Component Based Automation“ basiert. Die einzelnen Profinet-Komponenten

⁵¹ Vgl. HMS Industrial Networks (2008-2019), Online-Quelle [01.07.2021].

⁵² Vgl. Profibus, Profinet, Online-Quelle [01.07.2021].

⁵³ Vgl. Pigan/Metter (2008), S. 19.

⁵⁴ Vgl. Kunbus, Online-Quelle [03.07.2021].

im Netzwerk haben nur eine überschaubare Anzahl an Eingangssignalen und die Signalweitergabe wird durch ein Steuerprogramm, welches die Funktionalitäten im System vorgibt, geregelt.⁵⁵

Profinet CBA hat Buszykluszeiten von 50-100 ms. In der Praxis hat Profinet CBA daher weniger Bedeutung, da es nicht echtzeitfähig ist.⁵⁶

Profinet IO (Dezentrale Peripherie)

Profinet IO ist das am häufigst verbreitete Industrial-Ethernet Netzwerk. Es basiert auf Profibus-DP und daher auch auf der Fast-Ethernet Technologie. Allgemein wird Profinet IO verwendet, um zwischen Feldgeräten und der Steuerung zu kommunizieren.⁵⁷

Dabei bietet es folgende Anwendungen:⁵⁸

- Die schnelle Übertragung von I/O-Signalen-
- Die Möglichkeit Parameter auszulesen aber auch zu setzen.
- Die Übertragung von IT-Funktionen.
- Diagnosemöglichkeiten für das Netzwerk und die im Netzwerk vorhandenen Komponenten.
- Alarmfunktionen.

Wie auch bei Profinet CBA muss Profinet IP nicht programmiert werden. Der Hersteller liefert für jede Komponente GSD-Files, die in das Programm eingefügt werden können. Den Geräten müssen nur IP-Adressen zugewiesen werden, anschließen kann das Programm bereits in die SPS geladen werden.

Die Kommunikation findet über das Produce-Consumer-Modell statt, welches Netzwerke mit gleichberechtigten Teilnehmern unterstützt. Die Teilnehmer senden also Daten, ohne dazu aufgefordert zu werden.⁵⁹

Profinet IO - Geräteklassen

Wie bereits angesprochen sind die Teilnehmer bei Profinet IO gleichberechtigt. Welche unterschiedlichen Arten von Teilnehmern es gibt ist in Abbildung 6. In der Abbildung sind Geräteklassen angeführt, die in ein Profinet-Netzwerk eingebunden sind.⁶⁰

⁵⁵ Vgl. Pigan/Metter (2008), S. 20.

⁵⁶ Vgl. HMS Industrial Networks (2008-2019), Online-Quelle [01.07.2021].

⁵⁷ Vgl. RTA - Real Time Automation, Online-Quelle [02.07.2021].

⁵⁸ Vgl. HMS Industrial Networks (2008-2019), Online-Quelle [01.07.2021]

⁵⁹ Vgl. Kunbus, Online-Quelle [02.07.2021].

⁶⁰ Vgl. Kunbus, Online-Quelle [02.07.2021].

Azyklische Datenverkehr dient dem Parametrieren oder Konfigurieren der IO-Devices. Dies wird mittels UDP/IP umgesetzt. Zusätzlich zum Parametrieren oder Konfigurieren können über den azyklischen Datenaustausch Diagnoseinformationen weitergeben werden, Logbucheinträge umgesetzt werden und beispielsweise Identifikationsinformationen übertragen werden.⁶⁴

4.2 IO-Link

IO-Link wird im Zuge der Dezentralisierung der Anlage genauer betrachtet.

IO-Link wird häufig mit Bussystemen gleichgesetzt, es handelt sich dabei jedoch um eine Point-to-Point Kommunikation zwischen Sensoren und den IO-Link-Modulen. Um IO-Link anzuwenden, benötigt man also Sensoren mit eigenen IO-Link Schnittstellen.⁶⁵

IO-Link bringt Vorteile wie den eines inkludierten Datenspeichers, der Parametereinstellungen speichert. Wenn ein Sensor ausgewechselt wird, werden die Parameter automatisch übernommen, wodurch Wartungszeiten verkürzt werden. Über IO-Link können Daten wie Prozessdaten und Geräteeigenschaften ausgelesen werden. Dadurch werden neue Möglichkeiten für die Bedienung und Wartung geboten, da alle Informationen aus dem Feld abrufbar sind.⁶⁶

IO-Link wird meist mit intelligenter Kommunikation und intelligenten Feldgeräten in Verbindung gebracht, welche bei Cyber-Physischen Systemen zum Einsatz kommen. Im folgenden Kapitel werden Cyber-Physische Systeme genauer beschrieben.

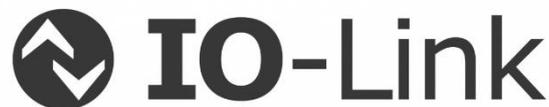


Abbildung 7: Logo IO-Link, Quelle: WIKA, Online-Quelle [05.07.2021].

⁶⁴ Vgl. HMS Industrial Networks (2008), Online-Quelle [03.07.2021].

⁶⁵ Vgl. Balluff, Online-Quelle [15.Mai.2021].

⁶⁶ Vgl. PROFIBUS Nutzerorganisation e.V., Online-Quelle [17.05.2021].

5 CYBER-PHYSISCHE SYSTEME

In diesem Kapitel wird ein Überblick über Cyber-Physische Systeme gegeben. Am Markt wird immer höhere Dynamik und Flexibilität gefordert. Um darauf eingehen zu können, werden auch Produktionssteuerungen immer komplexer. Durch das Aufzeigen einiger Aspekte im Bereich Cyber-Physischer Systeme, soll eine Basis geschaffen werden, um zu klären, ob die Anwendung eines Cyber-Physischen Systems für die Ballenlinie sinnvoll ist.

5.1 Definition CPS

Ein CPS besteht aus mehreren, in die Anlage eingebetteten Systemen. Diese Systeme können an der Maschine über Sensoren Daten erfassen oder über Aktoren Funktionen ausführen.⁶⁷

Die Daten können schon in dem System ausgewertet aber auch gespeichert werden, wie in Kapitel 4 anhand des Beispiels von IO-Link bereits erläutert wurde. Auf diesem Weg kann die digitale mit der physikalischen Welt interagieren. Auch Human-Machine-Schnittstellen sind in ein CPS integriert.⁶⁸

Die einzelnen Systeme sind dabei digital verbunden, sowohl drahtlos als auch drahtgebunden. Ein CPS ist nicht auf eine Lokalität begrenzt. Es kann auf globale und lokale Daten und Services zugreifen.⁶⁹

In Abbildung 8 ist ein mechanisches System dargestellt, das Teil eines CPS ist.

Die Sensorik und Aktorik des Systems kommuniziert über das Informationsnetzwerk mit einer Steuerung. Diese Teilsystem ist wiederum eingebettet in ein Gesamtsystem, das auch global ausgelegt sein kann.

⁶⁷ Vgl. Freier (2021), S. 19.

⁶⁸ Vgl. Pfrommer u.a. (2014), S. 3.

⁶⁹ Vgl. Geisberger (2012), S. 22.

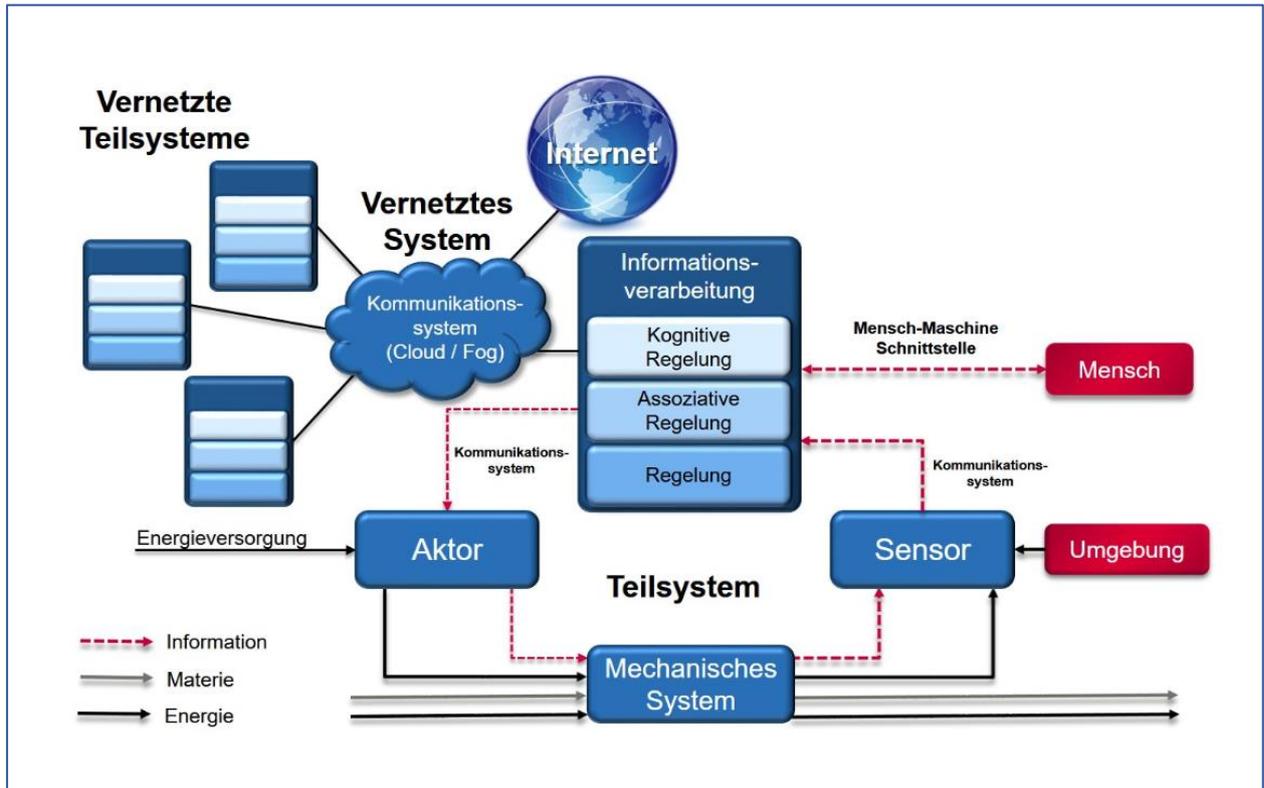


Abbildung 8: Ein mechanisches System in einem CPS, Quelle: Lustenberger (2017), Online-Quelle [17.05.2021].

5.2 Eigenschaften von CPS

Durch die Kombination der Eigenschaften Adaptivität, Autonomie, Automatisierung, Multifunktionalität, Kontextbewusstsein und Echtzeitfähigkeit, bieten Cyber-Physische Systeme neue Möglichkeiten in der Industrie.

Adaptivität

Ein CPS ist in der Lage sich selbst an eine neue Situation anzupassen. Tritt ein Problem auf, so kann das System dieses mit vorbestimmten oder selbst erlernten Mustern beheben.⁷⁰

Autonomie

Ein CPS ist teilautonom oder autonom. Das bedeutet, dass es situationsabhängig kommuniziert und Prozesse koordiniert. Die Koordination der Prozesse kann sowohl digital als auch physisch stattfinden, in Form von Datenmanagement oder in Form von Interaktion über Sensorik und Aktorik.⁷¹

⁷⁰ Vgl. Musil u.a. (2017), S. 13.

⁷¹ Vgl. Geisberger (2012), S. 62.

Automatisierung

Cyber-physische Systeme können selbstständig Prozesse ausführen. Damit die Systeme autonom agieren können müssen diese Prozesse automatisiert sein. Ein manuelles Eingreifen von außen in das System ist somit nicht notwendig.⁷²

Multifunktionalität

Ein CPS ist multifunktional. Dies wird durch die Modularität des Systems erreicht, durch die viele Teilsysteme mit unterschiedlichen Funktionen miteinander zu einem Gesamtsystem kombiniert werden.⁷³

Kontextbewusstsein

Kontextbewusstsein bedeutet, dass ein CPS zu jedem Zeitpunkt seinen aktuellen Stand abrufen kann. Durch Sensorik und richtiges Informationsmanagement ist eine Diagnose des Gesamtsystems immer möglich.⁷⁴

Echtzeitfähigkeit

Echtzeitfähigkeit ist für einen dezentralen Aufbau notwendig, weshalb sie bereits in Kapitel 3.4, in Bezug auf Kommunikation von dezentralen Systemen erwähnt wurde. Um Prozesse abzuarbeiten, müssen lokale und globale Daten zu jedem Zeitpunkt abrufbar sein und die Informationen aus unterschiedlichen Ebenen miteinander fusioniert werden können.⁷⁵

5.3 Technologien in CPS

Um die CPS zu realisieren, müssen viele unterschiedliche Technologien in Kombination angewandt werden. Um diese Technologien genauer aufzuschlüsseln, werden sie in Hinsicht auf die Funktionalitäten betrachtet, die sie unterstützen:

- *Physikalische Situationserkennung*: Physikalische Situationserkennung bedeutet nicht nur das Aufnehmen von Daten, sondern auch das Auswerten dieser Daten. Um dies zu tun werden folgende Technologien benötigt: Sensorfusion, Mustererkennung, Situationskarten.⁷⁶
- *Planendes und vorausschauendes Handeln*: Diese Funktion kommt beispielsweise im Condition Monitoring und in der Predictive Maintenance zum Einsatz. Durch Echtzeit-Datenanalysen werden Schäden vorhergesagt.⁷⁷ Angewandte Technologien sind multikriterielle Situationsbewertungen und künstliche Intelligenz.

⁷² Vgl. Freier (2021), S. 22.

⁷³ Vgl. ISAP AG (2018), Online-Quelle [18.05.2021].

⁷⁴ Vgl. Geisberger (2012), S. 62.

⁷⁵ Vgl. Geisberger (2012), S. 61.

⁷⁶ Vgl. Geisberger (2012), S. 127.

⁷⁷ Vgl. RS, Online-Quelle [20.05.2021].

- *Kooperation*: In einem CPS kooperieren viele Systeme untereinander. Dafür werden Multi-Agent Systeme verwendet.⁷⁸
- *Human-Machine-Interaktion*: Wie bereits erläutert kann ein CPS vollständig autonom aber auch teilweise autonom sein. Bei Unsicherheiten, die aufgrund von komplexen Problemen auftreten ist es von Vorteil, wenn ein Mensch in den Prozess eingreifen kann. Die Systeme benötigen daher Schnittstellen zum Menschen.⁷⁹
- *Lernen*: Um in jedem Kontext richtige Handlungen zu setzen soll ein System aus vergangenen Daten lernen können. Dazu können Data Mining und Machine Learning verwendet werden.
- *Evolution: Strategie der Selbstorganisation und Adaption*: Für die Selbstorganisation der Systeme werden unter anderem „Selbstorganisierende Kommunikationsnetze“ angewandt.
- *Basistechnologien*: Um ein CPS aufzubauen wird Hardware benötigt, um Daten einzulesen, Funktionen auszuführen und eine Dateninfrastruktur zu erstellen.⁸⁰

Sollen die jeweiligen Funktionen im CPS umgesetzt werden müssen die genannten Technologien im System implementiert sein. In der Ballenlinie werden derzeit nur wenige dieser Technologien angewandt.

5.4 Sicherheitsrisiken

Cyber-Physische Systeme werden auch in sicherheitskritischen Bereichen angewandt. Dies bezieht sich sowohl auf die Gefahren für Menschen, die im Bereich eines Cyber-Physischen Systems arbeiten, als auch auf Datensicherheit. Daher muss ein CPS eine hohe Zuverlässigkeit bieten.⁸¹

Funktionale Sicherheit

Funktionale Sicherheit bedeutet, dass keine wahrscheinlich auftretenden Risiken vom System ausgehen. In der Entwicklung soll außerdem eine geringe Fehlerhäufigkeit bedacht werden und im Fehlerfall soll das System weiterhin funktionsfähig bleiben.⁸²

In der Regel wird bei Risikoanalysen ein in sich abgeschlossenes System bewertet. Für dieses System ist ein Sicherheitsziel vorgegeben, nach dem sich die Bewertung des Systems richtet.

Ein CPS besteht jedoch aus vielen Teilsystemen und Komponenten die unterschiedliche Sicherheitsziele haben. Wenn die Teilsysteme zu einem Gesamtsystem zusammengefasst werden, ist es also schwierig die Sicherheitsfunktionen dementsprechend zu skalieren. Um das komplexe System vereinfacht darzustellen müssen alle Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Teilsystemen aufgezeigt und genau definiert werden. Auf dieser Basis lässt sich eine skalierbare Sicherheitsfunktion erstellen.⁸³

⁷⁸ Vgl. Geisberger (2012), S. 128.

⁷⁹ Vgl. Vogel-Heuser/Bauernhansl (2017), S. 171.

⁸⁰ Vgl. Geisberger (2012), S. 128.

⁸¹ Vgl. Broy (2010), S. 22.

⁸² Vgl. Broy (2010), S. 86.

⁸³ Vgl. Geisberger (2012), S. 145f.

Digitale Sicherheit

Im digitalen Bereich sind viele Faktoren mitzubedenken. Präventive Maßnahmen zum Abhalten von Angriffen, kryptografische Verschlüsselungen die Versuche ins System einzudringen verhindern sollen und Erkennungsmechanismen die Angriffe früh aufzeigen können, müssen in das Sicherheitskonzept integriert sein. Nach einem Angriff muss der ursprüngliche Zustand des Systems wiederhergestellt werden, auch hierfür sind eine Sicherheitsfunktionen einzuplanen.

Ein Problem, das sich speziell bei digitaler Sicherheit ergibt, ist die Einsatzdauer der Sicherheitsfunktionen. Wird ein System bei der Inbetriebnahme als sicheres System zertifiziert, gilt das genau für diesen Zeitpunkt. Da sich die Technologie in diesem Bereich schnell weiterentwickelt, ist es wichtig zu berücksichtigen, dass die Verfahren und Protokolle entweder ausgetauscht oder für eine lange Einsatzdauer geeignet sein müssen.⁸⁴

Zuverlässige Sicherheitsfunktionen für Cyber-Physische Systemen sind schwierig zu entwickeln und müssen daher von Beginn an mitkonzipiert werden. In diesem Bereich sind noch viele Risiken verborgen und Forschung notwendig.⁸⁵

Im folgenden Kapitel startet die praktische Ausarbeitung des Konzepts mit einer Stakeholderanalyse, welche zu Beginn des Projekts durchgeführt wird.

⁸⁴ Vgl. Geisberger (2012), S. 147.

⁸⁵ Vgl. Broy (2010), S. 90.

6 DURCHFÜHRUNG STAKEHOLDERANALYSE

Im ersten Schritt der Stakeholderanalyse werden Personengruppen identifiziert, die ein Interesse an der Umsetzung des Projekts haben oder direkt an der Umsetzung beteiligt sind. In Tabelle 2 sind diese Interessensgruppen gesammelt. In der zweiten Spalte wird ihr Einfluss auf das Projekt beschrieben.

Diese beiden ersten Punkte der Stakeholderanalyse, das Erkennen der Stakeholder und das Beschreiben ihres Einflusses wurde bereits in Kapitel 2.2 als der erste Punkt einer Stakeholderanalyse beschrieben.

Stakeholder	Beschreibung des Einflusses
Kund*innen	Kund*innen müssen das neue Konzept inklusive neuer Lieferant*innen akzeptieren.
Lieferant*innen	Lieferant*innen müssen international vertreten sein, alle notwendigen Zertifizierungen aufweisen können und den technischen Anforderungen des Projekts entsprechen.
Führungsebene/Management	Als Auftragsgeber*in ist das Ziel des Managements die Kosten des Gesamtprodukts zu senken. Bei Entscheidungen bezüglich wichtiger Lieferant*innen und der Auswahl des Konzepts ist die Führungsebene eingebunden.
Produktverantwortliche	Sie müssen das Konzept als Teil des Produktes akzeptieren und können wichtigen Input liefern.
Auftragsleiter*innen	Auftragsleiter*innen werden mit dem Konzept arbeiten und sind während ihrer Arbeit in ständigem Kundenkontakt, wodurch sie direktes Feedback erhalten.
Projektmanagement Automatisierung	In der Abteilung für Automatisierung arbeiten Mitarbeiter*innen an der Ausarbeitung, Erstellung und Testung des Konzepts.
Inbetriebnehmer*innen	Durch das neue Konzept soll sich die Inbetriebnahmezeit auf der Baustelle verkürzen. Des Weiteren arbeiten Inbetriebnehmer*innen ständig mit dem Produkt.
Montage Supervisor	Durch das neue Konzept soll sich neben der Inbetriebnahmezeit auch die Montagezeiten verkürzen. Montage Supervisor können hier wertvollen Input beitragen.
Mechanik	Gewisse Automatisierungskonzepte benötigen mechanische Änderungen des Produkts. Daher ist das Mechanical Department ein wichtiger Ansprechpartner bei der Konzeptauswahl.

Detail Engineering	Das Detail Engineering arbeitet mit dem neuen Konzept und ist an der Detailausarbeitung beteiligt. Wichtig ist auch der Input bei der Konzeptauswahl.
Pneumatik	Um ein einheitliches Automatisierungskonzept zu erstellen, wird auch das Konzept der Pneumatik angepasst.
Technical Department	Besonders beim Einsatz von neuen Technologien ist die Technikgruppe eingebunden. Im Laufe des Projekts wird mehrmals Rücksprache gehalten.
Sales Department	Nach der Ausarbeitung der Spezifikation des Konzepts, wird das Sales Department eine Kalkulation erstellen um, das neue Produkt anbieten zu können. Auch bei der Auswahl neuer Lieferant*innen wird Rücksprache mit dem Sales Department gehalten.
Safety Department	Jedes Konzept wird sicherheitstechnisch geprüft.
On-Site Operator	Die Bediener*innen der Anlage arbeiten täglich mit dem Produkt. Ihre Meinung zum aktuellen Konzept ist daher von großer Bedeutung.
Instandhalter*innen	Instandhalter*innen arbeiten mit dem fertigen Produkt. Bei der Ausarbeitung muss immer die Wartung berücksichtigt werden.

Tabelle 2: Sammlung von Stakeholdern, Quelle: Eigene Darstellung.

Für die Analyse der Interessen der Stakeholder, werden interne Stakeholder zu Beginn des Projekts befragt. Die Fragen beziehen sich auf die Erwartungen bezüglich des Projektes allgemein, die Erwartungen bezüglich des Projekts in Hinsicht auf ihren Arbeitsbereich und die Schnittstellen im Projekt. Die Antworten werden anschließend ausgewertet und je nachdem wie häufig sie genannt werden, gereiht. In die Liste mit Antworten wird auch Feedback von Kund*innen aus vergangenen Projekten eingearbeitet, um externe Stakeholder in die Auswertung miteinzubeziehen. Dieses Feedback beinhaltet auch Feedback von On-Site Bediener*innen.

Jedes erstellte Konzept wird mit den erhaltenen Antworten abgeglichen und bewertet, ob es die Erwartungshaltungen der Stakeholder erfüllt. Das ist ein Teil der Strategie, um auf die Interessen der Stakeholder einzugehen. Außerdem gibt es eine Gruppe an Stakeholdern, die in wichtige Entscheidungsprozesse im Laufe des Projekts eingebunden sind.

An der Auswahl des Grundkonzepts ist ein erweiterter Kreis an Stakeholdern involviert. Dieser erweiterte Kreis kann mittels einer Nutzwertanalyse seine Meinung abgeben. Anhand des Ergebnisses der Nutzwertanalyse wird die Entscheidung bezüglich des Grundkonzepts getroffen.

7 ERSTELLUNG DER KONZEPTE

In diesem Kapitel werden die einzelnen Schritte erläutert, die zur Aufstellung der neuen Konzepte führen. Es werden fünf Basiskonzepte für das Equipment und drei für die Hardware des HMIs diskutiert.

7.1 Dezentrale Auslegung der Antriebe

Bei der Dezentralisierung der Antriebe werden die Frequenzumrichter von den MCCs auf den Motor verlegt.

In Abbildung 9 sieht man den aktuellen Aufbau der Anlage. Neben der 400 V Spannungsversorgung benötigt der FU eine Steuerspannung von 24 V und eine Profinet-Anbindung. Ein Motorkabel führt in das Feld zum Motor.

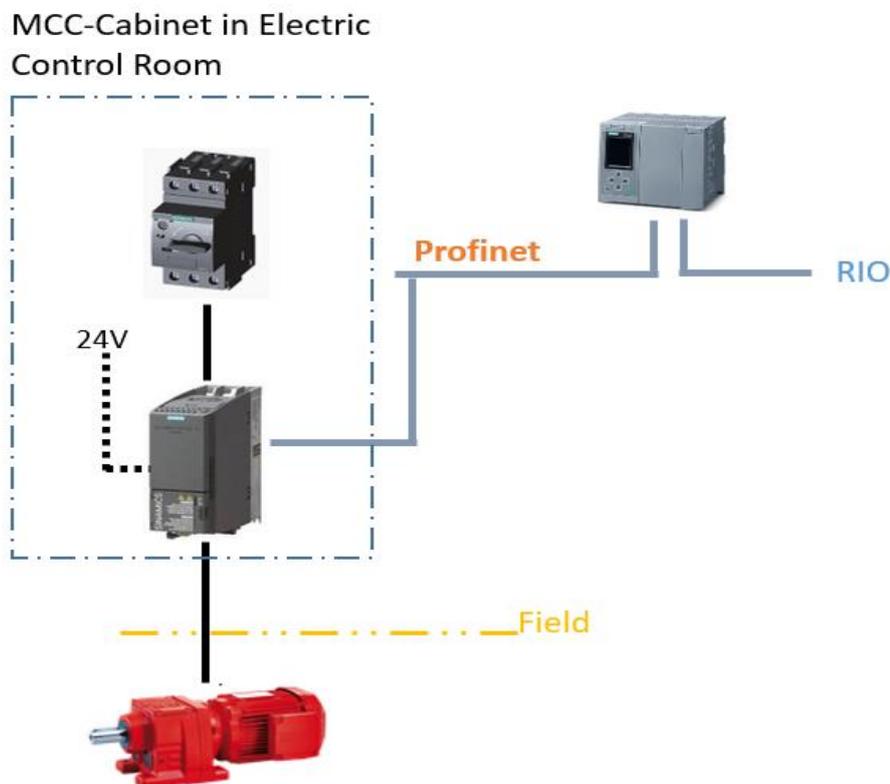


Abbildung 9: Aktuelle Auslegung der Antriebe mit Frequenzumrichtern im MCC, Quelle: Eigene Darstellung.

In Abbildung 10 sieht man einen dezentralen Aufbau. Die Spannungsversorgung und die Busanbindung sind direkt im Feld. Die Leitungen werden zum nächsten FU durchgeschliffen. Wie viele FUs von einer Leitung versorgt werden können hängt von der jeweiligen Motorleistung ab. Gewisse Frequenzumrichter, bieten die Möglichkeit intern IOs zu verdrahten. Diese Option ist von den jeweiligen Lieferant*innen abhängig.

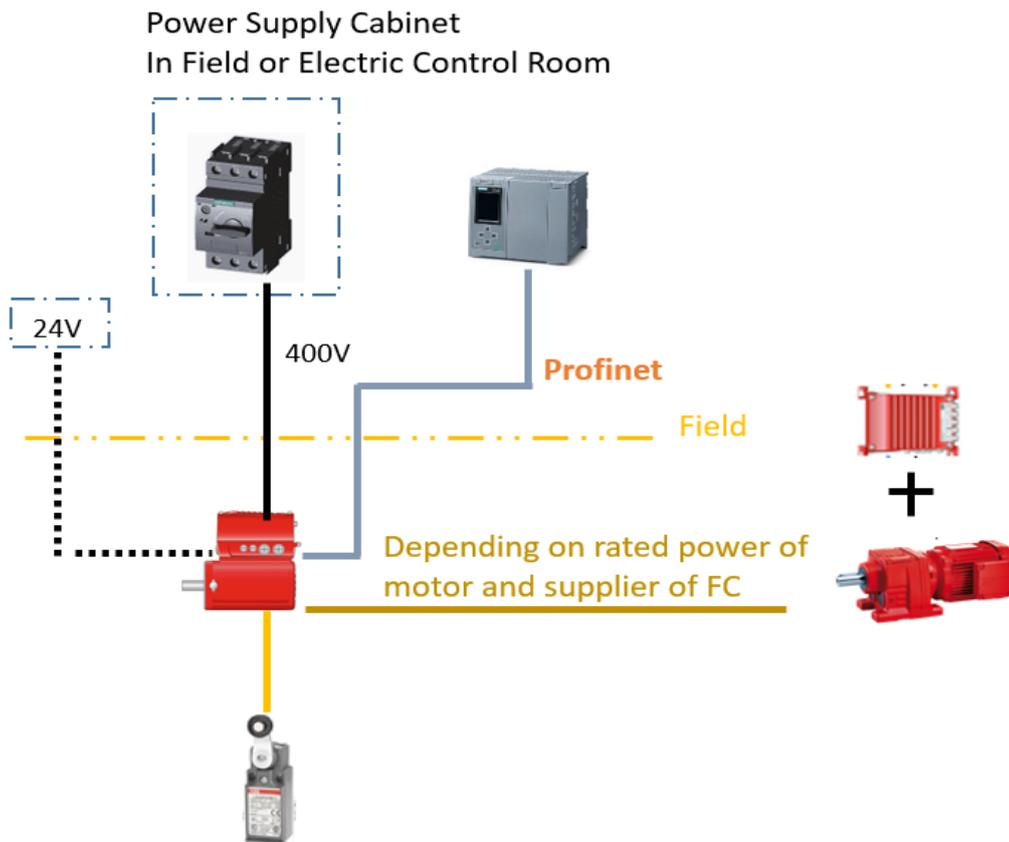


Abbildung 10: Dezentrale Auslegung der Antriebe, Quelle: Eigene Darstellung.

Bei einer dezentralen Lösung muss also weiterhin ein Schrank gefertigt werden. Anstelle der MCCs werden Spannungsverteilschränke benötigt. Je nach Lieferant*innen können die IOs, anstatt im RIO-Schrank, direkt im FU sein. Da durch die dezentrale Bauart, das Equipment modularisiert werden kann, soll dieser Ansatz in den Konzepten vorhanden sein.

7.2 Dezentrale Auslegung der IOs

In Abbildung 11 sieht man einen Teil der aktuellen Topologie des Netzwerks. Die IOs sind in den RIO-Schränken. Bei einer dezentralen Auslegung befindet sich in der Topologie anstelle der RIO-Schränke ein einfaches IP67-Modul, das direkt an den Equipments angebracht werden kann. Ein IP67-Modul ist ein elektronisches Betriebsmittel, welches die Schutzklasse IP76 aufweist. Die Schutzklasse gibt an für welche Umgebungsbedingungen, das IO-Modul geeignet ist. Die Kennziffer „6“ gibt an, dass es vollständig vor Staub geschützt, also staubdicht ist. Die zweite Kennziffer „7“ gibt an, dass das Gerät einen Wasserschutz gegen einstweiliges Untertauchen hat.

Diese Anwendungen können auch mit IO-Link umgesetzt werden. Dadurch ergeben sich die Vorteile, die in Kapitel 3.4 erläutert werden, wie beispielsweise die Möglichkeit Parameter zu speichern. Nach Rücksprache mit Lieferanten, wurde IO-Link jedoch ausgeschlossen, da es keinen Safety-Standard für das Protokoll gibt. Eine gemischte Lösung wird ausgeschlossen. Mit IO-Link hätten Sensoren mit geeigneter Schnittstell gewählt werden müssen. Für Standard IO-Module können alle Sensortypen beibehalten werden.

Durch die Verlagerung der IOs aus den Schränken, wird das Equipment modularisiert, weshalb dieser Ansatz in die Konzepte aufgenommen wird.

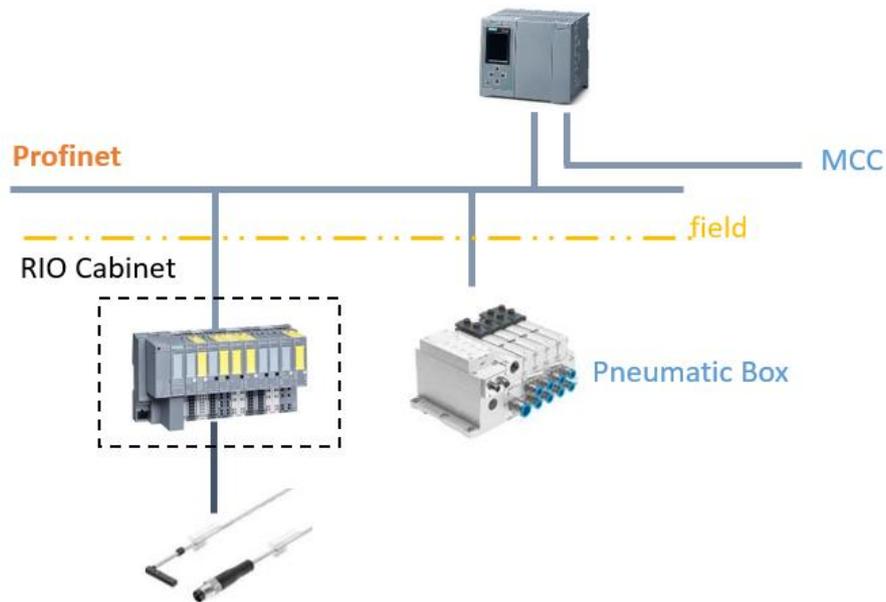


Abbildung 11: Aktuelle Topologie der IOs im RIO, Quelle: Eigene Darstellung.

7.3 Basiskonzept Equipments

Die Equipments sollen dezentral und möglichst modular aufgebaut werden. Im besten Fall ist jedes Equipment alleinstehend vollkommend funktionsfähig und die einzelnen Equipments können beliebig aneinandergereiht werden. Zurzeit wird das Equipment auf die Baustelle gebracht und muss dort angeschlossen und verdrahtet werden. Dabei kommt es häufig zu Fehlern die umständlich nachzubessern sind. Da die Arbeitsstunden auf den Baustellen teuer sind, wäre es gut, wenn die Equipments bereits funktionsbereit und vorgetestet auf die Baustelle kommen. Auf der Baustelle soll es nur noch wenige Steckverbindungen geben, die angeschlossen werden müssen. Von jeder Art von Anschluss soll es nur eine Steckverbindung geben, damit es zu keinen Verwechslungen kommen kann. Sprich einen Anschluss für die Spannungsversorgung, einen Anschluss für die Pneumatik, einen Netzwerkanschluss. Dies stellt den Idealzustand dar.

Damit das Equipment vollständig funktionsfähig ist muss es in Zusammenhang mit einem Conveyor betrachtet werden. Durch die gesamte Ballenline werden die Zellstoffballen über Conveyor befördert. Entlang dieses Fördersystems stehen die unterschiedlichen Maschinen zur Verarbeitung der Ballen.

Es werden fünf Konzepte mit unterschiedlicher Modularität der Equipments aufgestellt.

7.3.1 Konzept 1 - Ist-Stand

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, ist als Alternative immer der Status-Quo zu betrachten, da die Entscheidung gefasst werden kann keine Handlungen zu setzen und den aktuellen Stand beizubehalten.

Aktuell befinden sich alle Frequenzumrichter in MCCs. Die MCCs sind in E-Räumen aufgestellt. Im E-Raum steht außerdem ein PLC-Schrank. Die Anlage wird von dort aus zentral gesteuert. Die IOs befinden sich in RIO-Schränken, die im Feld stehen. Die gesamte Ballenlinie ist von Sicherheitszäunen umgeben. Zutritt zur Anlage erhält man durch Türen, die über das Bedienpanel oder einen Drucktaster, direkt an der Tür zu entriegeln sind.

Diese Ausführung hat den **Vorteil**, dass alle FUs im Rahmen eines FATs (Factory Acceptance Test) parametrisiert und getestet werden können bevor sie auf die Baustelle kommen. Ein weiterer Vorteil sind die kurzen Distanzen der Netzkabel, die von den RIO-Schränken zum PLC-Schrank geführt werden. Auch das Planen der RIO-Schränke ist weniger aufwendig, da die IOs beliebig belegt werden können und kein genaues Konzept für die Vergabe der einzelnen Ports erstellt werden muss. Dadurch sind auch Änderungen leicht durchzuführen.

Aufgrund der zentralen PLC gibt es wenige Kommunikationsschnittstellen. Die Handhabung der Software ist allgemein einfacher und auch die Durchführung des Software FATs vor der Baustelle ist weniger aufwändig.

Nachteilig ist, dass jede Anlage einen E-Raum haben muss. Da die FUs und IOs nicht auf dem Equipment sind kann dieses nicht vorab getestet werden. Neben den Tests auf der Baustelle, die sehr kostenintensiv sind, fallen auch Kosten für die Fertigung der Schränke an.

Aufgrund der hohen Distanzen zwischen der FUs und der Motore und auch zwischen der IOs und der RIO-Schränke gibt es hohe Kabelwege und die elektromagnetischen Störungen können Auswirkungen auf die Netzkabel haben.

Der Aufbau dieses Konzepts ist in Abbildung 12 vereinfacht dargestellt.

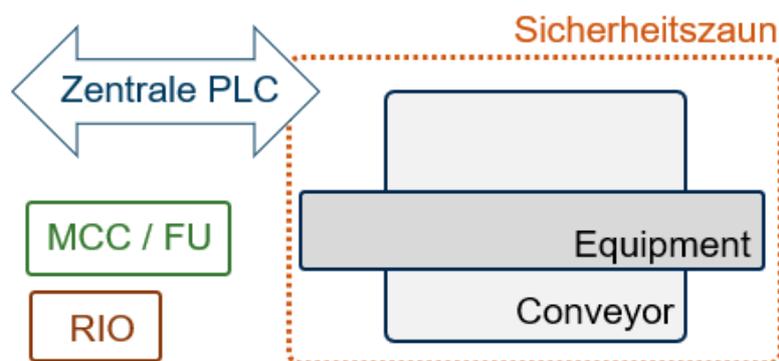


Abbildung 12: Aktuelle zentrale Auslegung der Produktionsanlage, Quelle: Eigene Darstellung.

7.3.2 Konzept 2 - FU und IO on-board

Im zweiten Konzept werden die RIO-Schränke und die MCCs aufgelöst. Die FUs sind direkt am Equipment, am Motor oder abgesetzt montiert. Die IOs sind entweder mit IP67 Modulen am Equipment montiert oder direkt im FU. Die Steuerung bleibt weiterhin zentral. Dieser Aufbau ist in Abbildung 13 dargestellt.

Im Vergleich zu den anderen Konzepten hat dieses Konzept ein geringes technisches Risiko. Mit einer Test-PLC kann das Equipment, obwohl es keine eigene lokale PLC hat, vorab getestet werden.

Durch das Beibehalten der zentralen PLC muss kein neues Sicherheitskonzept für die Ansteuerung der E-Stops erstellt werden.

Da es keine MCCs gibt muss der*die Kund*in auch keinen E-Raum zur Verfügung stellen und auch die Fertigung und Planung der Schränke fällt weg.

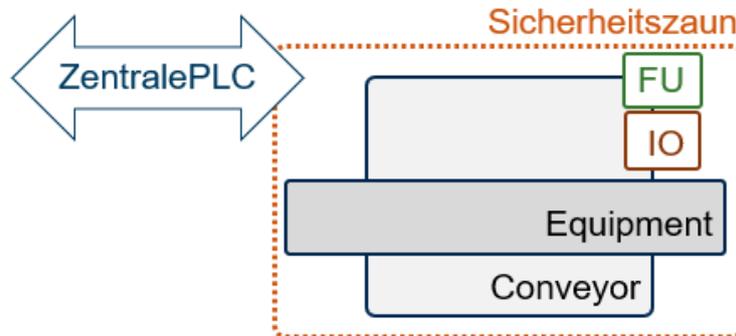


Abbildung 13: Auslegung des Equipments ohne MCCs und RIOs, Quelle: Eigene Darstellung.

7.3.3 Konzept 3 - Binder Standard

Das dritte Konzept ist nach einem Equipment, das bereits auf diese Art aufgebaut ist, benannt, dem Binder. Der Binder wickelt Draht um den Zellstoffballen und schnürt ihn fest. Dieser Vorgang ist sehr komplex, weshalb der Binder modular aufgebaut wird, damit er vor der Baustelle komplett getestet werden kann.

Direkt am Equipment angebracht ist ein eigener Binder-Schrank. In diesem sind die IOs, der FU und die PLC. Neben der lokalen PLC, die auch die lokale Safety steuert, gibt es eine übergeordnete PLC, die die Safety des Gesamtprozesses steuert.

Die Vorteile liegen daher auf der Hand. Ein Vortesten ist möglich, wodurch die Inbetriebnahmezeiten gekürzt werden. Auch die Kabelabstände sind sehr gering.

Durch die Planung und Fertigung eines Schrankes pro Equipment fallen zusätzliche Kosten an, wobei die Planung gering ist, da der Schrank standardisiert ist. In Abbildung 14 ist das Konzept des Ballen Binders dargestellt.

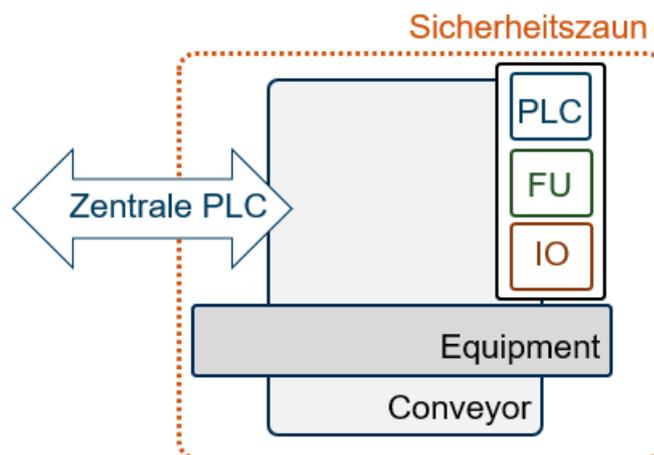


Abbildung 14: Das Equipment hat einen Schrank mit lokaler PLC, Quelle: Eigene Darstellung.

7.3.4 Konzept 4 - FU/IO/PLC on-board

Im vierten Konzept sind sowohl FUs, IOs als auch die PLC on-board. Die Komponenten sind jedoch nicht in einem eigenen Schrank, sondern direkt am Equipment angebracht. Das Konzept beinhaltet keine übergeordnete PLC, weshalb ein neues Safety-Konzept erstellt werden muss.

Für gewisse Funktionen, wie beispielsweise die Nachverfolgung der Ballen, wird weiterhin eine übergeordnete PLC benötigt.

Anstelle eines Sicherheitszauns soll in diesem Konzept, eine Sicherheitsvorrichtung direkt am Equipment angebracht sein. Zurzeit müssen für jedes Layout der Anlage, die Sicherheitszäune neu geplant werden, da die Örtlichkeiten in jedem Projekt unterschiedlich sind. Daher müssen auch die Sicherheitstüren, jedes Mal neu geplant werden. Auf der Baustelle müssen die Sicherheitszäune aufgebaut werden. Da das Equipment aufgrund der Risikobewertung für Personen nicht frei zugänglich sein darf, ist es ohne Sicherheitszäune nicht vollständig funktionsfähig.

Diese Art des Aufbaus, der in Abbildung 15 dargestellt ist, beinhaltet große mechanische Veränderung.

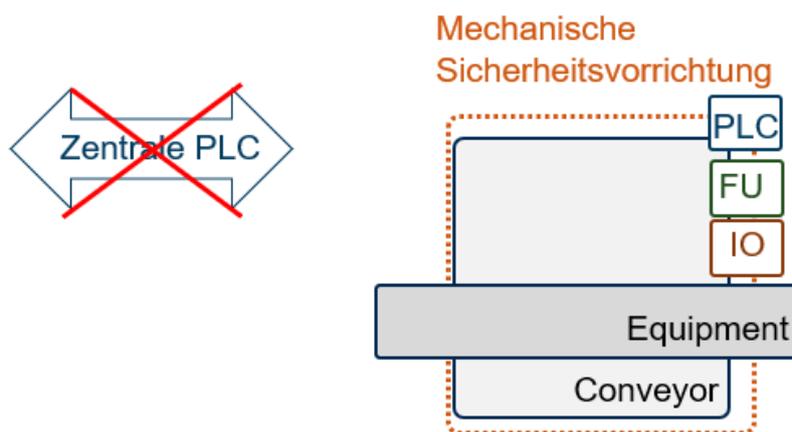


Abbildung 15: Ein vollkommen modulares Equipment, der Aufbau ist ohne Schaltschrank.
Quelle: Eigene Darstellung.

7.3.5 Konzept 5 - PLC und I/Os im FU

Im fünften Konzept soll mit intelligenten FUs gearbeitet werden. Sowohl die IOs als auch die PLC sollen im FU integriert sein. Auch in diesem Konzept gibt es keine zentrale PLC für den Prozess. Das heißt, dass auch alle Sicherheitsfunktionen über den FU mit PLC-Funktionalität gesteuert werden müssen. Die Sicherheitskonstruktion ist auch bei diesem Equipment direkt on-board.

Gleich wie im vierten Konzept ist das Equipment gänzlich modularisiert und alleinstehen funktionsfähig. Jedes Equipment kann standardisiert werden und hat daher einen sehr niedrigen Engineering Aufwand. Da das Equipment bereits vorab gefertigt und getestet wird sind auch die Inbetriebnahmezeiten stark reduziert. Das Konzept ist Abbildung 16 dargestellt.

Da es nicht viele Anbieter*innen mit geeigneten FUs gibt, ist man bei dieser Variante sehr stark von Lieferanten*innen abhängig. Diese Problematik bei intelligenten Feldgeräten wurde bereits in Kapitel 3.4 erläutert.

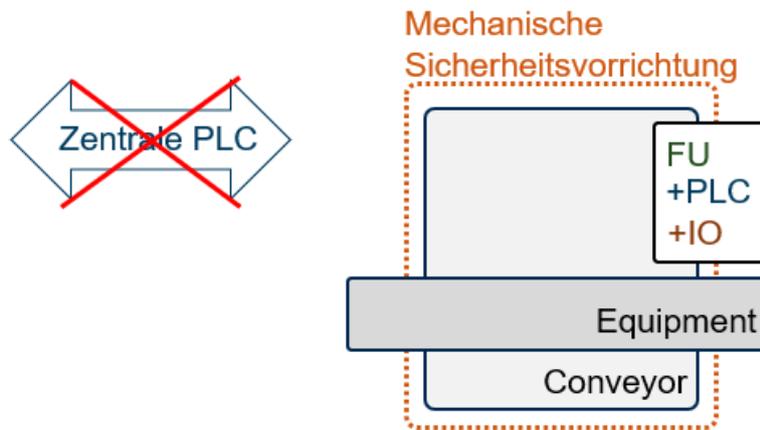


Abbildung 16: Verwendung eines FUs mit PLC-Funktionalität und on-board IOs, Quelle: Eigene Darstellung.

7.4 Konzept HMI-Hardware

Unabhängig von den Equipments ist die Auswahl der Bedienung der Anlage zu wählen. Hier gibt es drei Konzepte, die miteinander verglichen werden.

7.4.1 Konzept 1 - IST-Stand - Bedienstationen

Das erste Konzept stellt den aktuellen Stand dar. Entlang der Linie gibt es mehrere fixierte Bedienstationen, die mit Touchpanels ausgestattet sind. Die genaue Anzahl hängt vom Wunsch der Kund*innen ab, in der Regel sind es circa sechs Stück. Die Bedienpanels sind entlang der Anlage so platziert, dass die Bediener bestmöglich von den fixen Bedienstationen in die zu bedienenden Bereiche der Anlage einsehen können. Dennoch werden bei auftretenden Problemen häufig zwei Personen benötigt. Eine Person, die am Bedienpanel steht und die Anlage steuert und eine, die in den betroffenen Bereich einsieht.

Mit dieser Lösung ist das Equipment nicht modular, da es von einer fixierten Bedienstation abhängig ist über die mehrere Equipments gesteuert werden. Das Konzept ist in Abbildung 17 dargestellt.

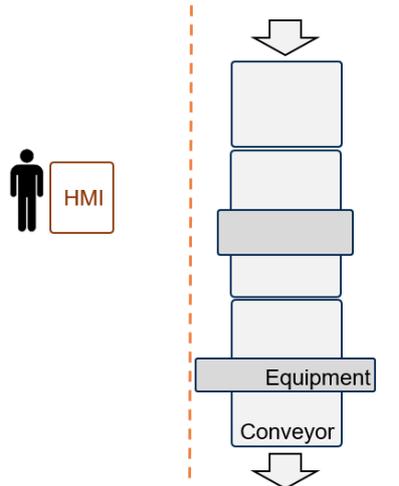


Abbildung 17: In der Anlage gibt es fixierte Bedienstationen mit Touchpanels, Quelle: Eigene Darstellung.

7.4.2 Konzept 2 - Fixe Bedienstationen auf Equipments

Im zweiten Konzept hat jedes Equipment seine eigene Bedienstation. Dadurch ist jedes Equipment modular aufgebaut und die Bedienpersonen haben Einblick in jeden Bereich der Anlage. Während man bei den fixen Bedienstationen erst den Bildschirm für das Equipment aufrufen muss, das man bedienen will, ist in dieser Variante das richtige Bedienbild sofort am Bildschirm.

Nachteilig bei diesem Konzept sind jedoch die hohen mechanischen Änderungen und die zusätzlich anfallenden Hardwarekosten. Außerdem ist das Konzept abhängig von der jeweiligen Sicherheitskonstruktion des Equipments. Um das Panel direkt am Equipment platzieren zu können darf es keine Sicherheitszäune geben. Eine Abdeckung muss direkt am Equipment sein. In Abbildung 18 sind diese Änderungen vereinfacht dargestellt.

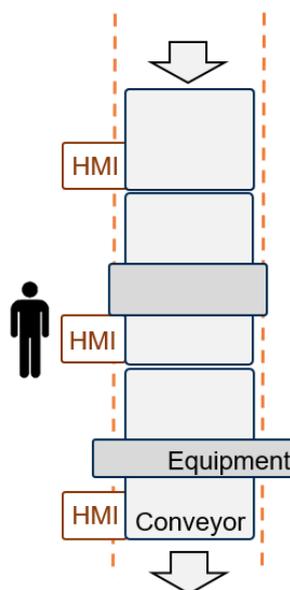


Abbildung 18: Direkt an den Equipments sind Bedienstationen angebracht, Quelle: Eigene Darstellung.

7.4.3 Konzept 3 - Mobile Bediengeräte

Im dritten Konzept werden mobile Bediengeräte verwendet. Welche Geräte genau gewählt werden, ob beispielsweise Smartphone, Tablet oder Hololens ist in diesem Konzept nicht definiert.

Durch mobile Bediengeräte sind Bedienpersonen flexibler und haben uneingeschränkte Einsicht in alle Bereiche. Die Anzahl der Bediengeräte ist reduziert und auch der Austausch im Falle eines Gebrechens ist einfach. Für mobile Bediengeräte muss das Safetykonzept neu überarbeitet werden. In der Darstellung in Abbildung 19 ist zu sehen, dass die Bedienung unabhängig von der Maschine stattfindet.

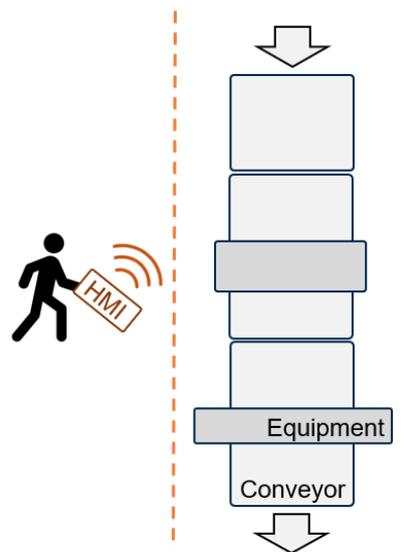


Abbildung 19: Mobile Geräte werden zur Bedienung der Anlage verwendet,
Quelle: Eigene Darstellung.

Im folgenden Kapitel werden die Konzepte für die Hardware und für das HMI mit Hilfe einer Nutzwertanalyse bewertet. Somit lässt sich im Anschluss ein geeignetes Konzept wählen.

8 DURCHFÜHRUNG DER NUTZWERTANALYSE

Im folgenden Kapitel wird die Durchführung der Nutzwertanalyse und ihre Ergebnisse beschrieben.

Ausgangsbasis für die Nutzwertanalyse sind die definierten Konzepte für die Ballenlinie und das HMI. Diese Konzepte stellen die Entscheidungsalternativen in der Entscheidungsmatrix dar. Im nächsten Schritt werden die Kriterien festgelegt.

8.1 Kriterien festlegen

Die Entscheidungskriterien sind von der Zielsetzung abhängig. Ziel ist es die Anlage dezentral auszulegen und dadurch die Vorteile von modularer Auslegung der Anlage zu nutzen. Das erste Kriterium, das das Konzept erfüllen soll ist daher das, einer dezentralen Auslegung. Allgemein soll die Kundenakzeptanz des ausgewählten Konzepts hoch sein. Die Vorstellungen von Kund*innen weichen hin und wieder vom Standard ab. Das Konzept muss daher Flexibilität gegenüber Anpassungen mit sich bringen.

Das technische Risiko der Umsetzung soll nicht zu hoch sein, denn Probleme auf der Baustelle sind nicht nur kostenintensiv, sondern auch rufschädigend. Das Risiko soll daher niedrig gehalten werden.

Eine Kriteriengruppe stellen die Kosten dar. Sie sind aufgeteilt in einmalige Entwicklungskosten, Hardwarekosten, Engineering-Kosten, und Inbetriebnahmekosten.

Auch, ob die Konzepte die Interessen der Stakeholder decken, wird als Kriterium gewertet. Für die Bewertung dieses Kriteriums werden die Ergebnisse der Befragungen der Stakeholder zu Beginn des Projekts, wie in Kapitel 6 angeführt wurde verwendet.

8.2 Bewertung von Gewichtung und Erfüllungsgrad

Um Fehler, die durch Subjektivität auftreten zu minimieren wird eine Gruppe Stakeholder gebeten die Entscheidungsmatrix auszufüllen und aus allen Bewertungen ein Durchschnitt berechnet. Jede der Personen arbeitet direkt mit dem Produkt oder kann Wissen zum Themengebiet beitragen. In Summe wird die Nutzwertanalyse von 18 Personen durchgeführt.

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Gewichtung der Kriterien zu sehen. Auffallend ist, dass eine hohe Kundenakzeptanz und niedrige Start-up-Kosten hoch priorisiert sind. Der Grund dafür sind die aktuell hohen Kosten während Inbetriebnahmen. Wenig Bedeutung haben die niedrigen Entwicklungskosten, da sie nur einmalig auftreten. Am geringsten werden die Interessen der Stakeholder gewichtet. Viele der Personen welche, die Gewichtung der Kriterien bestimmen, waren an der Befragung der Stakeholder beteiligt. Ihre Interessen sind daher bereits durch ihr Mitwirken an der Nutzwertanalyse vertreten. Ein anderer Grund weshalb, das Kriterium niedrig beurteilt wurde ist, dass die Interessen der Kund*innen im Laufe der Befragungen nur in Form von Auswertungen von Feedbacks inkludiert war und nicht im Rahmen einer tatsächlichen Befragung.

Kriterien	Gewichtung
Dezentrale Lösung	11,5
Niedriges technisches Risiko	11,5
Hohe Kundenakzeptanz	18,7
Flexibilität (Kundenwünsche)	10,1
Kosten	
Entwicklungskosten niedrig	5,7
Hardwarekosten nierig	7,4
Engineeringkosten niedrig	13,8
Start-up-Kosten niedrig	16,1
Interessen Stakeholder	5,1
Σ Sum	~100%

Tabelle 3: Ergebnis der Gewichtung der Kriterien, Quelle: Eigene Darstellung.

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Bewertung des Erfüllungsgrads zu sehen. In dieser Abbildung ist die Gewichtung nicht einberechnet. Auffallend ist, dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Konzepten nicht sehr groß sind. Am besten hat das vierte Konzept abgeschnitten, das keine zentrale PLC besitzt. Grund dafür sind die niedrigen Start-up-Kosten und der dezentrale Ansatz. Klar zu erkennen ist, dass der Ist-Stand die niedrigste Bewertung hat. Auch das fünfte Konzept, in dem das Equipment voll modular aufgebaut ist, schneidet weniger gut ab. Grund dafür sind das hohe technische Risiko aber auch die hohen Entwicklungskosten.

In den folgenden Tabellen werden Werte dargestellt, die auf eine Nachkommastelle gerundet sind. Die Berechnungen wurden jedoch mit ungerundeten Werten durchgeführt.

Im nächsten Schritt werden die Ergebnisse der Bewertung des Erfüllungsgrads mit der jeweiligen Gewichtung multipliziert. Die Gesamtnutzwerte sind in Tabelle 5 zu sehen.

Kriterien	Bewertung der Konzepte				
	IST-Stand	FU und IO on-board	Binder Standard	FU/IO/PLC on-board	Alles im FU
Dezentrale Lösung	1,1	5,2	7,6	8,9	9,3
Niedriges technisches Risiko	6,3	7,5	7,3	4,6	2,7
Hohe Kundenakzeptanz	7,4	7,3	7,3	6,3	5,6
Flexibilität (Kundenwünsche)	5,9	5,9	5,8	5,6	4,8
Entwicklungskosten niedrig	7,7	6,4	6,2	7,8	4,5
Hardwarekosten niedrig	5,6	6,2	5,4	5,8	5,3
Engineeringkosten niedrig	3,7	5,8	6,7	7,4	7,8
Start-up-Kosten niedrig	3,0	5,6	7,5	8,2	8,4
Interessen Stakeholder	3,0	9,0	7,0	10,0	10,0
Σ Sum	43,8	58,9	60,8	64,6	58,4

Tabelle 4: Ergebnisse der Bewertung des Erfüllungsgrads, Quelle: Eigene Darstellung.

Kriterien	Bewertung der Konzepte				
	IST-Stand	FU und IO on-board	Binder Standard	FU/IO/PLC on-board	Alles im FU
Dezentrale Lösung	12,8	59,3	86,8	102,1	107,2
Niedriges technisches Risiko	72,7	86,1	84,2	53,0	31,3
Hohe Kundenakzeptanz	139,4	137,3	137,3	118,6	105,1
Flexibilität (Kundenwünsche)	59,5	59,5	58,4	56,2	48,9
Entwicklungskosten niedrig	44,1	36,8	35,2	44,7	25,7
Hardwarekosten niedrig	41,3	46,2	40,5	43,3	39,2
Engineeringkosten niedrig	51,4	79,8	92,9	102,1	107,5
Start-up-Kosten niedrig	15,3	89,6	120,9	131,7	135,3
Interessen Stakeholder	15,3	46,0	35,8	51,1	51,1
Σ Sum	484,9	640,8	692,0	702,8	651,2

Tabelle 5: Gesamtnutzwert der fertiggestellten Nutzwertanalyse, Quelle: Eigene Darstellung.

Es ist zu sehen, dass sich durch die Gewichtung der Kriterien die Differenzen zwischen den Ergebnissen dezimiert haben. Das vierte Konzept bleibt an erster Reihe, jedoch ist der Unterschied zum dritten Konzept minimal. Für diesen Ausgleich sind die hohen Gewichtungen der Start-up-Kosten und des niedrigen technischen Risikos verantwortlich, sowie die niedrige Gewichtung der Entwicklungskosten.

Die Ergebnisse der Bewertung der HMI Konzepte fallen eindeutiger aus. Da eine Lösung mit mobilen Geräten einen dezentralen Lösungsansatz unterstützt und flexibler ist, bekommt dieser Ansatz die höchste Bewertung, wie in Tabelle 6 zu sehen ist.

Kriterien	Bewertung des HMI Konzepts		
	Operator Stations	Panels auf Equipment	Mobile Devices
Dezentrale Lösung	3,5	6,9	8,4
Niedriges technisches Risiko	7,9	6,3	6,2
Hohe Kundenakzeptanz	6,7	6,8	8,2
Flexibilität (Kundenwünsche)	5,9	5,1	7,2
Entwicklungskosten niedrig	6,8	5,6	5,5
Hardwarekosten niedrig	6,3	2,8	7,6
Engineeringkosten niedrig	5,3	5,1	6,8
Start-up-Kosten niedrig	6,2	5,9	7,8
Interessen Stakeholder	3,0	7,0	10,0
Σ Sum	51,6	51,4	67,6

Tabelle 6: Bewertung des Erfüllungsgrades der HMI-Konzepte, Quelle: Eigene Darstellung.

Bei der Nutzwertanalyse der HMI-Konzepte erhöht die Einberechnung der Gewichtung der Kriterien die Differenz zwischen den Gesamtnutzwert. Dies ist in Tabelle 7 zu sehen. Die Vorteile der mobilen Geräte sind hier klar zu erkennen.

Kriterien	Bewertung des HMI Konzepts mit Gewichtung		
	Operator Stations	Panels auf Equipment	Mobile Devices
Dezentrale Lösung	40,2	79,1	97,0
Niedriges technisches Risiko	91,3	72,7	70,8
Hohe Kundenakzeptanz	124,8	126,9	152,9
Flexibilität (Kundenwünsche)	59,5	51,1	72,5
Entwicklungskosten niedrig	39,0	31,7	31,4
Hardwarekosten niedrig	46,6	21,1	56,1
Engineeringkosten niedrig	73,7	69,9	93,7
Start-up-Kosten niedrig	99,4	95,9	125,4
Interessen Stakeholder	15,3	35,8	51,1
Σ Sum	589,9	584,1	750,9

Tabelle 7: Gesamtnutzwert der HMI-Konzepte, Quelle: Eigene Darstellung.

8.3 Probleme bei der Bewertung von Gewichtung und Erfüllungsgrad

Nach der ersten Bewertung der Entscheidungsmatrix sind einige Fehler unterlaufen, diese Fehler wurden vor weiteren Bewertungen behoben. Zum einen war es für einige Mitwirkende nicht klar, dass die Gewichtung der Kriterien einmalig stattfindet und nicht bei jeder Entscheidungsalternative. Als Maßnahme wurde die Gewichtung, nicht wie in den Lehrbüchern angeführt, in derselben Tabelle eingetragen wie die Bewertung des Erfüllungsgrads, sondern getrennt dargestellt. Durch die klare Trennung treten keine Irrtümer mehr auf. Ein anderes Problem bei der Gewichtung der Kriterien stellt die Tatsache dar, dass die Summe der Gewichtungen 100% ergeben soll. Nach der ersten Durchführung haben einige mitwirkende Personen diesen Wert nicht erreicht. Als Maßnahme wurde das letzte Feld vorausgefüllt mit „100%“, wie es in Tabelle 3 zu sehen ist. Dieser Fehler ist anschließend nicht mehr aufgetreten.

Da die einzelnen Konzepte sich nur durch kleine Details unterscheiden, können sich viele Personen diese Unterschiede nicht merken, wodurch es während des Ausfüllens zu Problemen kommt. Zusätzlich zu den Überschriften in der Tabelle wurden als Maßnahme daher Piktogramme eingefügt, in denen die Unterschiede klar zu sehen sind. Unstimmigkeiten gab es auch bei der Bewertung des Erfüllungsgrads der Kosten. So wurden von einigen Mitwirkenden niedrige Kosten mit einem niedrigen Erfüllungsgrad bewertet. Als Maßnahme wurde auf diesen häufig auftretenden Fehler vor dem Ausfüllen der Entscheidungsmatrix explizit hingewiesen, wodurch er nicht mehr aufgetreten ist.

Die fehlerhaft ausgefüllten Bewertungen aus der ersten von vier Bewertungsgruppen, wurden nicht in die Gesamtbewertung eingebunden.

8.4 Entscheidungsfindung auf Basis der Nutzwertanalyse

Die Nutzwertanalyse des HMI-Konzepts ergibt klar, dass in Zukunft mit mobilen Geräten gearbeitet werden soll. Die Entscheidung wurde daher auch dementsprechend getroffen.

Die Nutzwertanalyse des Gesamtkonzepts fiel weniger deutlich aus. Der Gesamtnutzwert gibt keine eindeutige Aussage bezüglich Vorteile eines bestimmten Konzepts. Wie bereits erwähnt wurden die Befragungen in vier Gruppen durchgeführt. Innerhalb dieser Gruppen gab es jedoch klare Unterschiede, die in Tabelle 8 zu sehen sind.

	IST-Stand	FU und IO on-board	Binder Standard	FU/IO/PLC on-board	Alles im FU
Gruppe 1	544,6	658,8	686,2	692,6	632,3
Gruppe 2	435,8	625,5	729,5	780,3	801,6
Gruppe 3	443,3	562,1	603,1	702,9	688,6
Gruppe 4	489,3	609,8	725,9	667,9	534,8
Gesamtnutzwert	484,9	640,8	692,0	702,8	651,2

Tabelle 8: Unterschiede der Ergebnisse, je nach Bewertungsgruppe, Quelle: Eigene Darstellung.

Im nachfolgenden Balkendiagramm werden die Nutzwerte einander grafisch gegenübergestellt. Es ist zwar klar zu erkennen, dass der Ist-Stand am niedrigsten bewertet wurde, die anderen Konzepte wurden jedoch je nach Gruppe unterschiedlich bewertet. Zu sehen ist ebenfalls, dass in den einzelnen Gruppen Favoriten existierend, diese sich jedoch im Gesamtwert wieder aufheben.

Jede Gruppe bildet eine andere Interessensgruppe ab. In „Gruppe 4“ sind Techniker*innen vertreten die, das Produkt gut kennen und in anderen Bereichen die Umsetzung die einzelnen Konzepte schon gesehen haben. Daher betrachtet die Bereichsleitung besonders die Ergebnisse dieser Gruppe. In „Gruppe 4“ ist das Konzept 3 „Binder Standard“ evaluiert worden, weil die Konzepte 4 und 5 ein zu hohes technisches Risiko in der Umsetzung darstellen. Es wurde daher entschieden nicht mit Konzept 4 oder 5 fortzufahren, sondern stattdessen mit den Konzepten 2 und 3. Welches der beiden Konzepte gewählt wird ist vom jeweiligen Equipment abhängig.

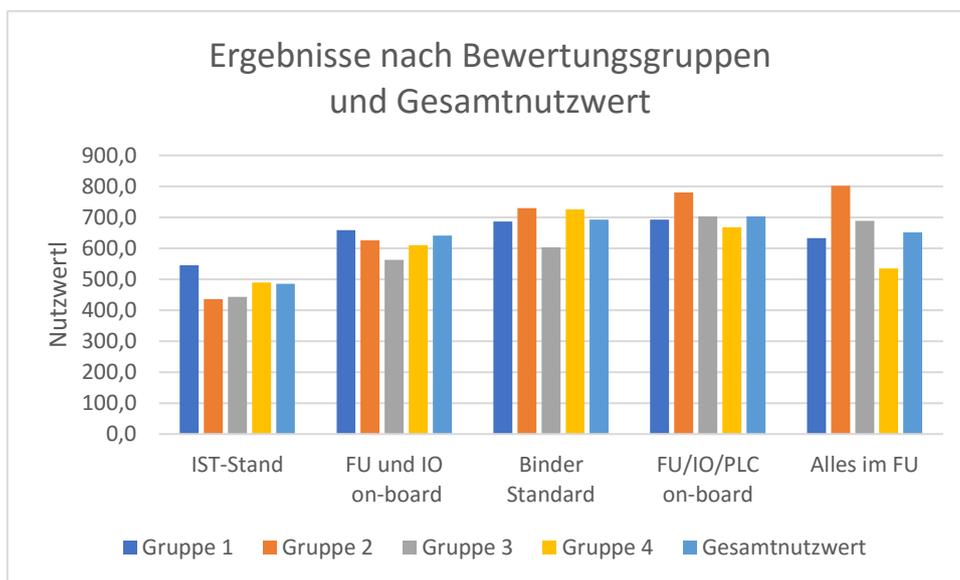


Abbildung 20: Grafische Darstellung der Ergebnisse der Nutzwertanalyse, Quelle: Eigene Darstellung.

Nach der Festlegung auf die einzelnen Konzepte, werden diese im folgenden Kapitel im Detail ausgearbeitet.

9 DETAILAUSARBEITUNG DES KONZEPTS

Im folgenden Kapitel wird das gewählte Konzept genau spezifiziert. Lieferanten und Komponenten werden ausgewählt. Details des Konzepts werden ausgearbeitet. Nach der Detailausarbeitung ist eine Spezifikation möglich, mit welcher, der Verkauf ein Angebot vorbereiten kann.

Auflösung MCC

Da keine MCCs mehr verwendet werden, wird die Platzierung aller Komponenten, die bis dahin in den MCCs waren, neu geplant. Die Frequenzumrichter werden direkt am Equipment sein. Die Spannungsverteilung wird mit Spannungsverteilschränken umgesetzt. Diese Schränke sind im Feld verteilt. Die Anlage ist in drei Zonen eingeteilt, in der es je einen Schrank geben wird. Der Schrank steht mittig in der jeweiligen Zone, um die Kabelwege kurz zu halten. Abhängig von der Leistung werden circa drei Motore von einer Versorgung gespeist.

Auflösung RIO-Schränke

Durch die Auflösung der RIO-Schränke müssen die IOs und Switches im Feld platziert werden.

Alle IOs sind am Equipment. Im Standard soll klar definiert sein welche Signale wohin verdrahtet werden. Daher gibt es eine einheitliche Ausführung für die gesamte Ballenlinie:

Alle Signale die, die Pneumatik betreffen werden direkt zu den Ventilinseln geführt. Die CPX Ventilinseln der Firma Festo sind direkt am Equipment befestigt und sind mit steckbaren IO-Modulen erweitert. Die restlichen Signale werden zum FU geführt. Sind die Plätze am FU belegt wird mit zusätzlichen IO-Modulen Modulen, den ET 200eco PN, der Firma Siemens gearbeitet. Die zusätzlichen Module werden nur bei drei Equipments benötigt.

Die Switches werden im Spannungsverteilschrank angebracht.

9.1 Detailausarbeitung - Antriebe

Die Auswahl der Konzepte hat ergeben, dass die FUs in Zukunft nicht mehr in MCCs sein werden. Daher werden FUs benötigt, die direkt im Feld angebracht werden können. Außerdem werden Fragen geklärt, wie die Verwendung von IOs im FU, aber auch woher die 24 V Steuerspannung für die FUs genommen werden, die zuvor im MCC generiert wurden.

9.1.1 Lieferantenauswahl FU

Bei der Lieferantenauswahl der FUs wurden drei Unternehmen genauer betrachtet. Der aktuelle Standard ist mit Frequenzumrichtern von Siemens umgesetzt, das Unternehmen ist bereits als Lieferant eingetragen und wird international akzeptiert. Daher wird Siemens auch als Lieferant für Frequenzumrichter on-board in Betracht gezogen. Ein Großteil der Motoren der Ballenlinie sind vom Unternehmen SEW EURODRIVE. SEW bietet auch FUs on-board an, weshalb auch dieses Angebot geprüft wird.

Als drittes Unternehmen wird NORD DRIVESYSTEMS gewählt. Die Frequenzumrichter on-board der Firma NORD wurden vor einigen Jahren bereits im Unternehmen getestet. Die Erfahrungen waren sehr gut, weshalb sie auch jetzt als Lieferanten in Betracht gezogen werden.

Folgende Anforderungen werden an die Unternehmen bezüglich der Frequenzumrichter gestellt:

- Das Unternehmen muss Frequenzumrichter anbieten, die direkt am Motor angebracht sind. Aus Platzgründen ist die Montage am Motor nicht immer möglich, weshalb auch FUs angeboten werden müssen, die abgesetzt vom Motor in motornähe montiert werden können.
- Die FUs müssen für Leistungen bis zu 15 kW geeignet sein.
- Die FUs müssen STO (Safe Torque Off) fähig sein.
- Sie sollen eine sichere Bremse besitzen.
- Die Frequenzumrichter müssen Profinet fähig sein.
- Die Umrichter benötigen internationale Zertifikate und sollen auch in China erhältlich sein, da viele Equipments dort gefertigt werden.

In Abbildung 21 sind die Modelle zu sehen, die im Laufe der Komponentenauswahl zum Vergleich standen.



Abbildung 21: Frequenzumrichter mit on-board Funktion von Siemens, SEW und NORD DRIVESYSTEMS,
Quelle: Eigene Darstellung.

Siemens

Mit der Serie G120D bietet Siemens FUs an, die motornähe zum Beispiel an der Wand oder direkt am Equipment befestigt werden können. Die Type erfüllt alle gestellten Anforderungen außer dem gewünschten Leistungsbereich. Die Frequenzumrichter der Serie G110M können direkt am Motor angebracht werden und entsprechen ebenfalls allen Anforderungen außer der Leistung. Die FUs dieser Serie decken einen Leistungsbereich von 0,75 kW bis 4 kW ab.

SEW EURODRIVE

SEW bietet zwei Serien an, die den Anforderungen nachkommen. Die Serie MOVIMOT advanced wird direkt am Motor montiert. Jedoch hat diese Serie, da sie neu auf dem Markt ist noch nicht alle internationalen Zertifikate und deckt nur einen Leistungsbereich von 0,55 kW bis 2,2 kW ab.

Die Reihe MOVIMOT flexible kann abgesetzt vom Motor montiert werden. Mit dieser Reihe ist sicheres Bremsen nicht möglich und sie ist ebenfalls nur bis 2,2 kW verfügbar. Im April 2021 werden beide Serien mit Modellen bis zu 7,5 kW erweitert. (Anmerkung: Die Auswahl der Lieferanten fand im Winter 2020 statt.)

Sowohl SEW als auch Siemens gab bekannt, dass die Leistungsbereiche der Frequenzumrichter in Zukunft nicht weiter ausgebaut werden, da der Frequenzumrichter on-board nur bis zu einer gewissen Größe sinnvoll ist. Danach treten Schwierigkeiten, zum Beispiel mit der Belüftung auf.

NORD DRIVESYSTEMS

Die Serie SK 200E bietet FUs an, die sowohl direkt am Motor, aber auch mit einer Montageplatte abgesetzt an der Wand montiert werden können. Der Leistungsbereich der Frequenzumrichter liegt zwischen 0,55 kW und 22 kW. Es ist kein sicheres Bremsen möglich, ansonsten werden alle Anforderungen erfüllt.

Anhand der Motorliste eines aktuellen Auftrags wurde abgeglichen, wie viele FUs mit welchem Anbieter umsetzbar sind. Dies ist in der Abbildung 22 dargestellt. In der linken Spalte sind die Anbieter zu sehen. In der zweiten Spalte die Leistungsbereiche der FUs die direkt am Motor montiert werden können und in der dritten Spalte die Leistungsbereiche der FUs die abgesetzt vom Motor montiert werden konnten. Bei NORD gibt es ein Modell für beide Varianten. Die Anzahl der FUs die mit diesem Anbieter umgesetzt werden kann ist in der Zeile unterhalb der Leistungsbereiche in grün dargestellt, die Anzahl der FUs die nicht umgesetzt werden kann ist direkt darunter in rot dargestellt.

	On Motor	Beside Motor
SIEMENS	0,75 kW - 4 kW	0,75 kW - 7,5 kW
	46	56
	19	9
SEW EURODRIVE	0,55 kW - 2,2 kW (April 2021 7,5 kW)	
	40 (56)	40 (56)
	25 (9)	25 (9)
NORD DRIVESYSTEMS	0,55 kW - 22 kW	
	65	
	0	

Abbildung 22: Übersicht der Angebote der Lieferanten Siemens, SEW und NORD, Quelle: Eigene Darstellung.

Aufgrund der Leistungsbereiche fällt die Auswahl auf Nord. Die sichere Bremse wird daher mechanisch umgesetzt.

9.1.2 Optionsbaugruppen Frequenzumrichter

Die Baureihe SK 200E bietet einige Funktionalitäten die variabel auszuwählen sind. Durch die Auswahl dieser Baureihe ergeben sich also viele weitere Details der Konzeptausarbeitung.

Interne IOs

Eine Möglichkeit ist es IOs direkt im Frequenzumrichter zu nutzen. In jedem FU befinden sich serienmäßig drei DI, ein DO und ein F-DI. Zusätzlich können Erweiterungsmodule ausgewählt werden. Eine interne IO-Karte ermöglicht weitere digitale und analoge Ein- und Ausgänge.

Busschnittstellen

Die FUs müssen eine Profisafe Schnittstelle haben. Diese ist nicht standardmäßig im FU integriert und muss extern als eigene Baugruppe an den FU angebracht werden. Diese Box belegt immer den internen sicheren Eingang. Dies ist bei der Planung der IO-Vergabe zu berücksichtigen.

Die einzelnen Profinet Boxen können über das Daisy Chain Prinzip miteinander verbunden werden.

PLC-Funktionalität

Die Baureihe SK 200E bietet eine integrierte PLC-Funktionalität. Ob eine lokale CPU für die Anwendung der Ballenlinie sinnvoll ist, wird im Detail betrachtet. Daher werden die Vorteile und Nachteile speziell für die Anlage gegenübergestellt.

Vorteile einer lokalen CPU:

- Es ist möglich Funktionalitäten und Versionen die Hardware-spezifisch sind als ein Modul zusammenzufassen.
- Durch den modularen Aufbau verringern sich Engineering-Kosten und Inbetriebnahmezeiten.
- Fehler sind leicht einzugrenzen.

Nachteile einer lokalen CPU:

- Eine höhere Anzahl an intelligenten Teilnehmern eines Netzes erhöht die Kommunikationskomplexität.
- Es sind komplexe Cyber Security Anwendungen zu implementieren.
- Es gibt nur wenige Produkte auf dem Markt, bei denen HMI und Logik in einem Gerät kombiniert werden können. Um mehrere Kommunikations-Peers zu betreiben, muss eventuell auf ein PUP-SUB-Verfahren (OPC-UA) umgestellt werden.
- Da jedes Gerät einen eigenen Funktionsbaustein hat, müssen Implementierungen auf eine SPS nach der anderen geladen werden, was einen hohen Aufwand bedeutet.
- Höhere Hardwarekosten.
- Das Trackingsystem der Zellstoffballen muss immer zentral bleiben.

Allgemein ist zu sagen, dass eine Kapselung mehr Vorteile bringt, wenn der Komplexitätsgrad der Maschine hoch ist. Aus Sicht der Steuerung trifft das in der Ballenlinie jedoch auf wenige Maschinen zu. Um Funktionen zu kapseln ist außerdem nicht zwingend eine eigene Steuerung notwendig.

Daher wird an dieser Stelle entschieden, bei den Equipments, die bereits mit einer lokalen Steuerung ausgestattet sind, diese beizubehalten, weniger komplexe Equipments werden jedoch weiterhin zentral gesteuert.

In Zukunft ist es denkbar, dass die modular aufgebauten Maschinen in ein CPS eingebunden werden. Es ist jedoch erst dann sinnvoll, wenn das System mehrere Funktionalitäten bedient. Nur die dezentrale

Auslegung der Anlage begründet nicht den Aufwand, der mit der Implementierung von lokalen Steuerungen einhergeht.

Steuerspannung

Jeder FU ist mit einem internen 24 V - Netzteil ausgestattet. Für das Gesamtkonzept ist das ideal, da keine zusätzliche Verteilung und Verkabelung für eine externe Versorgung stattfinden muss.

Die intern generierten 24 V weisen jedoch einige Nachteile auf.

Im Zuge der Inbetriebnahme wird in der Regel zuerst nur die Steuerspannung eingeschaltet, damit IOs überprüft werden können ohne, dass das Betreten der Anlage ein Gefahrenpotenzial birgt. Dies ist nicht möglich, wenn die Steuerspannung erst im FU generiert wird. Ein größerer Nachteil ist, dass, wenn das Gerät nicht mit Spannung versorgt ist, weder eine Parametrierung noch eine Diagnose der Busschnittstelle stattfinden kann.

Besonders der zweite Nachteil ist schwerwiegend, weshalb die Steuerspannung extern bereitgestellt wird.

9.2 Detailausarbeitung - HMI

Für das HMI wird das Konzept mit mobilen Bediengeräten gewählt. Nach einer Marktanalyse ergibt sich, dass als Hardware, Tablets genutzt werden. Die Bedienfläche ist groß genug und sie sind robuster als andere Möglichkeiten.

Anstelle von sechs Bedienstationen wird es pro Ballenlinie nur noch ein Tablet zu Beginn der Linie und eines am Ende der Linie geben.

Sicherheitskonzept

Um Tablets ohne E-Stop verwenden zu dürfen wird ein neues Sicherheitskonzept definiert.

Die Anlage besteht aus einzelnen Teilbereichen, die mit Zäunen abgegrenzt sind. In jedem Bereich gibt es eine Tür. Wird diese Tür entriegelt, wird der jeweilige Bereich der Anlage gestoppt. Man kann also nicht an die Linie herantreten, während sie in Betrieb ist. Die Tür wird mit einem Druckknopf, welcher sich direkt an der Tür befindet oder über die Bedienfläche am Touch Panel entriegelt. Nach dem Verriegeln der Tür fährt die Anlage wieder an.

Diese Funktion darf in Zukunft nicht über das HMI auszuführen sein, da sich eine Bedienperson mit dem Tablet in der Hand hinter dem Sicherheitszaun einsperren könnte. Die Türverriegelung wird nur noch direkt an der Tür ausgeführt. Ist die Tür offen muss das Bedienpersonal mit einer Sperrzange das Schließen verhindern.

Auswahl Hardware HMI

Da am Tablet kein E-Stop sein muss kann jedes handelsübliche Gerät verwendet werden, das den Anforderungen entspricht.

Aufgrund der robusten Ausführung wurde ein Industrie-Tablet, „Rugged Tablet 12.2“ TM12“ der Firma iQ Automation gewählt. Das Tablet entspricht den Militärstandard 810G und ist somit Schock und Vibrationsfest. Es besitzt die Schutzklasse IP65 und ist mit Kameras für Barcodescans ausgestattet.

9.3 Automation Overview

Durch das neue Konzept hat sich auch die Netzwerk Topologie geändert. Im Ist-Stand des Netzwerkaufbaus befindet sich eine PLC für die zentrale Steuerung im PLC-Schrank. Dieser Schrank steht im E-Raum. Die PLC ist über Profinet mit Switches verbunden, die ebenfalls im PLC-Schrank vorhanden sind. Von dort aus werden die FUs in den MCCs angesteuert. Die MCCs befinden sich ebenfalls im E-Raum.

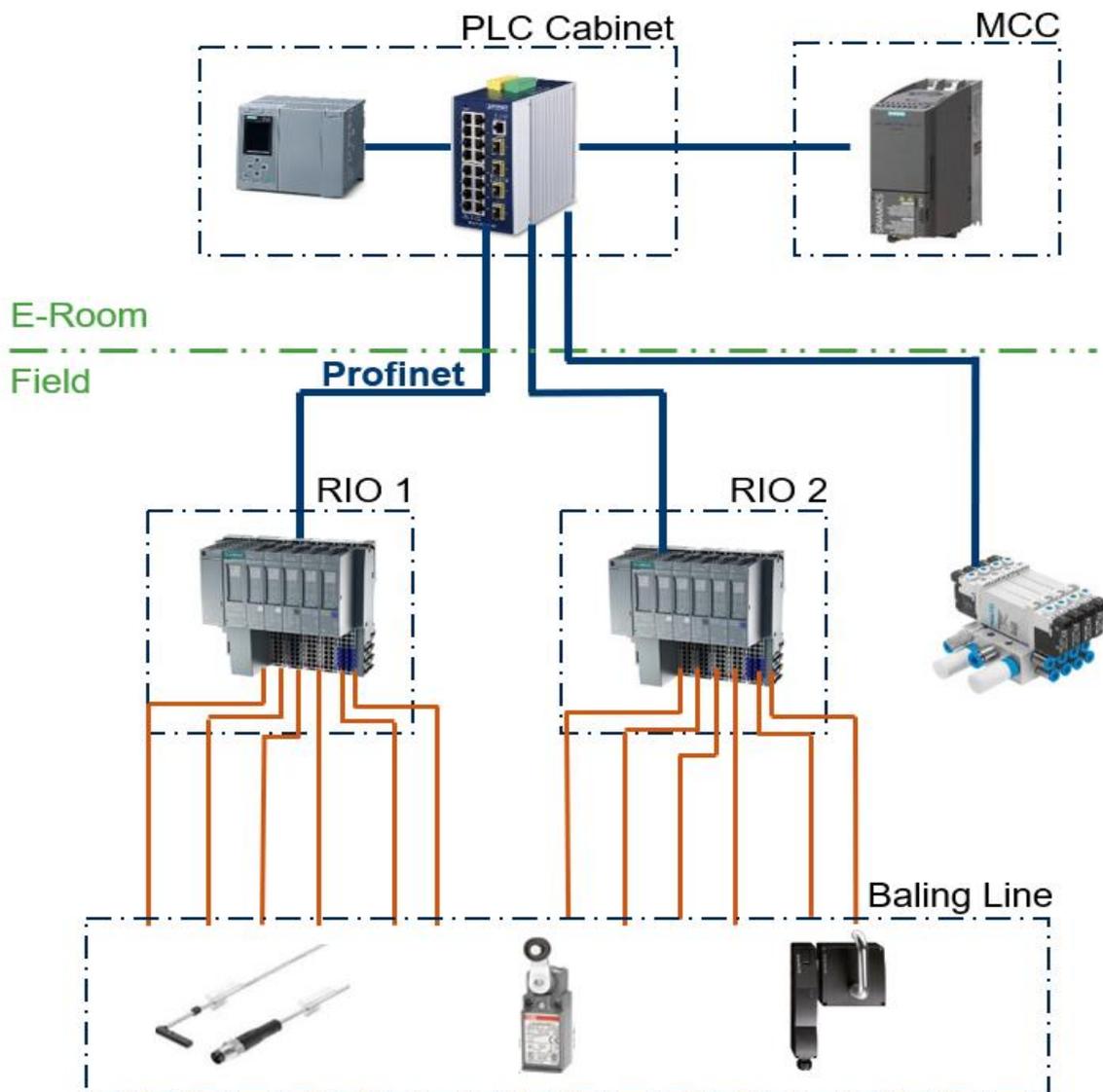


Abbildung 23: Aktueller Aufbau des Netzwerks, Quelle: Eigene Darstellung.

Raum. Von den Switches im PLC-Schrank führen Profinetverbindungen zu den RIOs in das Feld. In den RIOs sind ET 200SP Module von Siemens verbaut. In die Siemensmodule ist die Sensorik von den Equipments verdrahtet. Auch Safety-IOs sind in den RIOs zusammengefasst. Die Ventilinseln werden ebenfalls direkt über Profinet angesteuert. Der aktuelle Aufbau ist in Abbildung 23 zu sehen.

Im neuen Aufbau der Netzwerk Topologie existiert weiterhin ein PLC-Schrank. Ob dieser in einem eigenen E-Raum steht oder direkt im Feld, ist dem*der Kund*in überlassen. Im PLC-Schrank sind neben der SPS auch Switches. Die Switches sind mit dem Spannungsverteilschrank im Feld verbunden. Von den Switches in diesem Schrank führen Profinetverbindungen direkt zu den Equipments. Auf den Equipments oder in Nähe der Equipments sind Komponenten mit Profinetanschluss angebracht. Direkt am Equipment sind die FUs, die zusätzliche IOs beinhalten. Sind die IOs in den FUs nicht ausreichend, befinden sich zusätzliche IP67-IO-Module am Equipment, auch diese haben einen Profinetanschluss. Auch die Ventilinseln sind direkt am Equipment angebracht, mit zusätzlichen steckbaren IO-Modulen. Im Feld sind zusätzlich Türverriegelungssysteme mit Profinetanschluss an das Netzwerk angebunden. Da jede Anlage ein anderes Layout hat, muss die Implementierung der Signale für die Türverriegelung in jedem Projekt neu geplant werden. Daher gibt es einen Umstieg auf Türverriegelungen mit Profinetanschluss.

Andere Anwendungen, die nicht direkt am Equipment angebracht sind, werden, wie E-Stops und Alarmleuchten, ebenfalls über IP67-IO-Module mit Profinetanschluss eingelesen. Die neue Topologie ist in Abbildung 24 dargestellt.

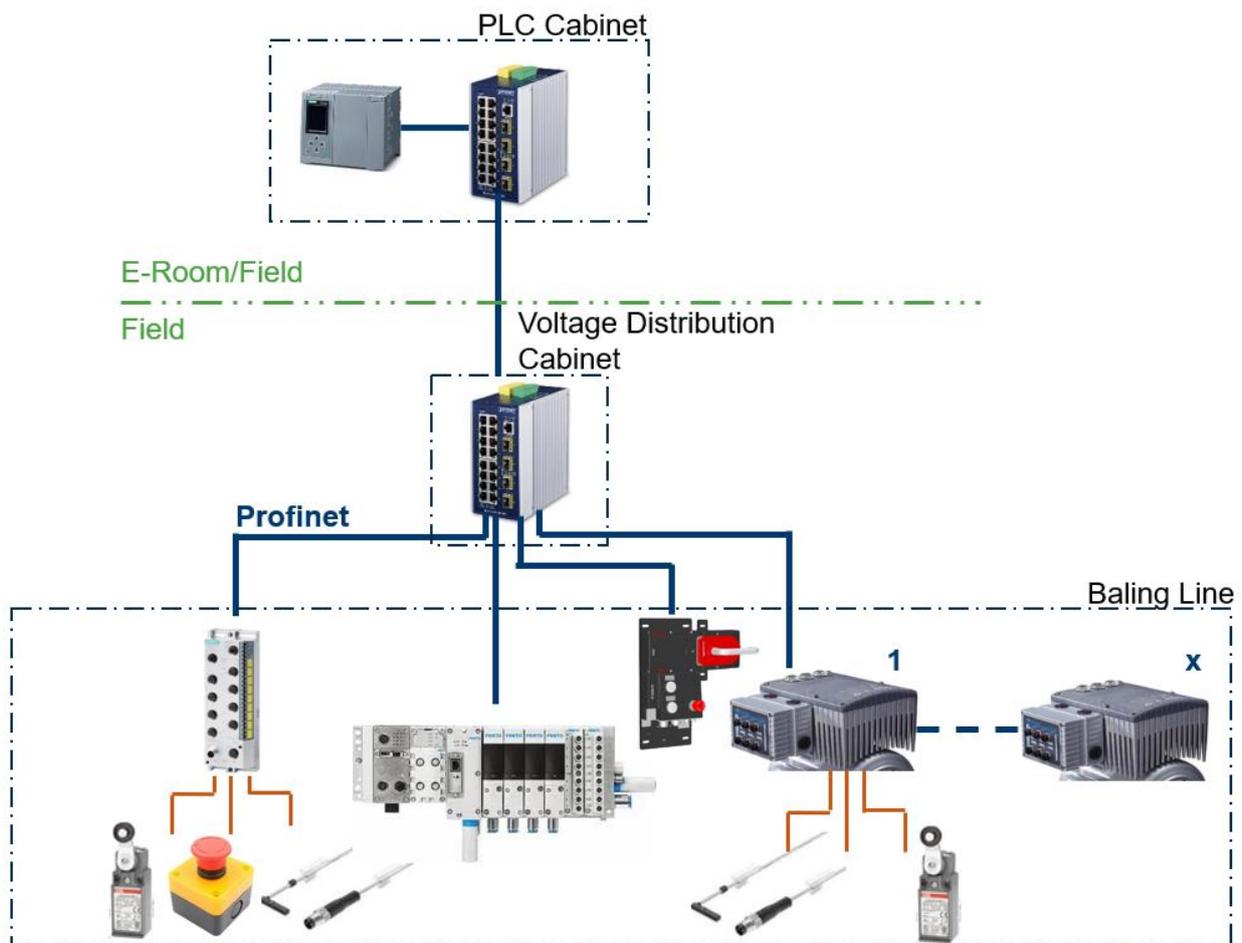


Abbildung 24: Neuer Aufbau des Netzwerks, Quelle: Eigene Darstellung.

In Abbildung 25 sind die Unterschiede eingezeichnet, die der neue Aufbau direkt am Equipment bedeutet. Im Beispielbild ist ein Wrapper Turn Conveyor zu sehen. Die Fördereinheit besitzt zwei Motore. Einen zum Befördern der Ballen und einen für einen Drehmechanismus.

Im linken Bild sieht man, dass die Sensorik in einer Klemmbox verdrahtet ist, die sich direkt am Conveyor befindet. Von dort aus sind sie zu den RIOs verbunden. Erst im RIO sind die ET 200SP Module, die einen Profinetanschluss besitzen.

Auf der rechten Seite sieht man wie das Equipment mit dem neuen Konzept aussieht. Das Equipment besitzt zwei Motore und daher auch zwei FUs. Ein FU ist direkt am Motor angebracht, der andere aus Gründen des mangelnden Platzes, abgesetzt am Equipment. Die Sensorik ist in den jeweiligen FU verdrahtet. Die FUs haben einen Profinetanschluss und sind mit dem Daisy Chain Prinzip mit dem PLC Schrank verbunden.

Dadurch entstehen längere Wege für die Netzkabel, jedoch ist der Verdrahtungsaufwand geringer. Das Equipment kann somit vor der Baustelle vorgefertigt und muss nicht erst vor Ort fertiggestellt werden. Besonders häufig kommt es bei Klemmboxen zu Verdrahtungsfehlern. Diese zu finden ist anschließend schwierig und das Ausbessern zeitaufwändig. Mit dem neuen Konzept wird daher viel Zeit im Rahmen der Montage und Inbetriebnahme gespart.

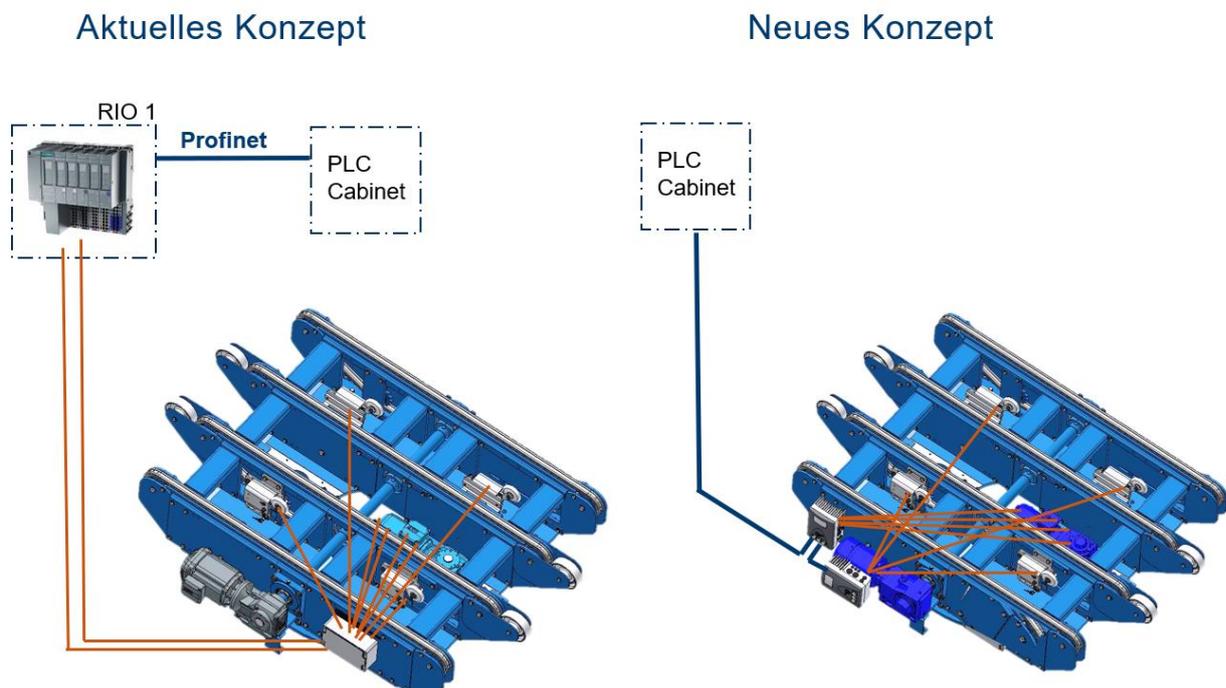


Abbildung 25: Aktueller und neuer Aufbau der Verdrahtung der IOs, Quelle: Eigene Darstellung.

10 KOSTENVERGLEICH

Durch die dezentrale Auslegung der Ballenlinie können Kosten gesenkt werden. In diesem Kapitel wird verglichen wo Einsparungen zu erwarten sind.

HMI-Hardware-Konzept

Die Kosten der neu ausgewählten Panels befinden sich im gleichen Bereich, wie Touchpanels für die stationären Bedienstationen. Das Bauen von Bedienstationen wird vorerst weiter kalkuliert, da die Tablets Ladestationen benötigen, die im Feld stehen. Durch die Flexibilität der Tablets wird jedoch die Stückzahl verringert, wodurch es zu Einsparungen von 40% kommt.

Basiskonzept

Die Einschätzung der Kosten für das neue Gesamtkonzept ist schwieriger, da es den Arbeitsprozess vieler Abteilungen betrifft. Die Abschätzung wurde daher mit den beteiligten Abteilungen abgesprochen.

Die Kosten der Positionen der Kalkulation, die sich durch das neue Konzept nicht ändern sind im Vergleich nicht berücksichtigt. Die Abschätzung geht von den 100-prozentigen Kosten des aktuellen Konzepts aus.

Die Kosten für die Erstellung der MCCs und RIOs fallen weg. Da die MCCs aufgelöst werden, müssen Spannungsverteilungsschränke produziert werden. Diese sind im Umfang geringer. Ein Teil der Komponenten muss direkt am Equipment montiert und verdrahtet werden. Dieser Aufwand ist jedoch zu vernachlässigen, da die Verdrahtung bis jetzt ebenfalls stattgefunden hat. Hier fällt der Zwischenschritt über die Klemmbox weg. Die Kosten in diesem Bereich sinken gering. Sie machen jedoch keinen großen Anteil der Gesamtkosten aus. Der Großteil der Kosten, der Anlage entsteht vor Ort auf der Baustelle und setzt sich zum großen Teil aus der Montage und der Inbetriebnahme zusammen. Da das Equipment schon vorgefertigt geliefert wird, gibt es hier hohe Zeiteinsparungen.

Auch im Engineering kommt es zu Einsparungen, da sich aufgrund des modularen Equipments der Engineering-Aufwand verringert. Im Basic Engineering bleibt der Arbeitsaufwand ähnlich, da sich die Aufgaben trotz Modularisierung nicht ändern. Im Detail Engineering kommt es jedoch zu einer Reduktion der Arbeitsstunden um 60%. Dies ist möglich, da bis jetzt alle MCCs und RIOs für jedes Projekt geplant werden mussten. Die RIOs fallen weg und die IOs sind im neuen Konzept bei jedem Equipment gleich belegt. Auch die MCCs müssen nicht mehr geplant werden, da die FUs direkt am Equipment sind. Nur die Spannungsverteilungsschränke sind zu planen. Aufgrund der Standardisierung der Equipments kann dies in Zukunft jedoch mit einem Konfigurator umgesetzt werden.

Im Software Engineering können die Stunden ebenfalls reduziert werden, da die IOs nicht bei jedem Projekt neu implementiert werden müssen und sich die Software für die einzelnen Equipments nicht ändert.

In Abbildung 26 sind die Bereiche gegenübergestellt, in denen es zu Einsparungen kommt. Zu beachten ist jedoch, dass der Arbeitsaufwand, der bei der Inbetriebnahme und der Montage eingespart wird, dennoch existiert. Diese Arbeiten werden mit dem neuen Konzept bereits vor Beginn der Baustelle durchgeführt und sie sind daher um ein Vielfaches kostengünstiger.

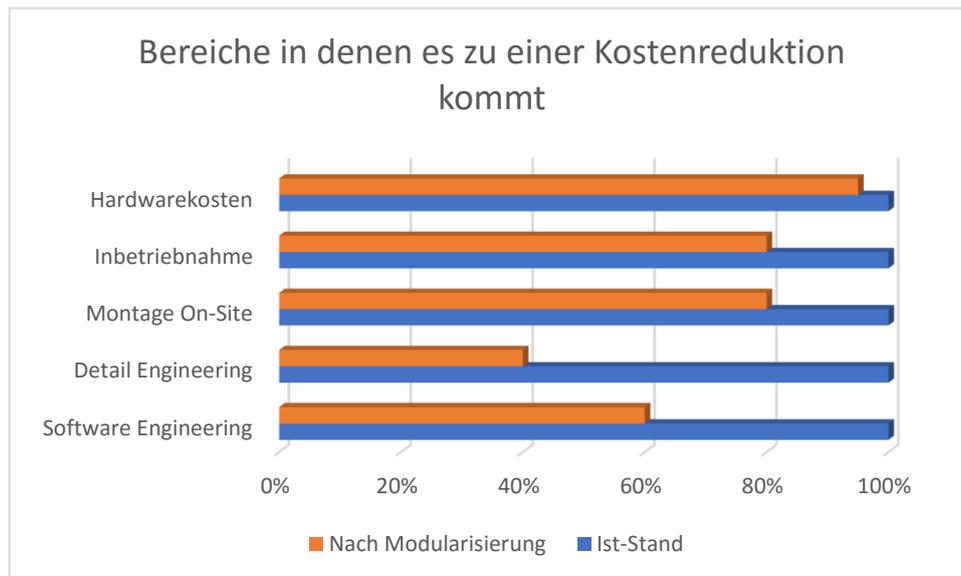


Abbildung 26: Bereiche in denen es zu Einsparungen durch das neue Konzept kommt, Quelle: Eigene Darstellung.

Falls das Equipment vorab getestet wird und nicht auf der Baustelle, kommt es durch die Änderungen zu einer Kosteneinsparung von bis zu 20%.

11 UMSETZUNG IM TESTAUFBAU

Ziel des Testaufbaus ist es vor allem die Frequenzumrichter von NORD Drivesystems zu testen, da es im Unternehmen mit diesem Lieferanten keine Erfahrung gibt. Da die verwendete Hardware bereits langjährig am Markt etabliert ist, ist anzunehmen, dass das Konzept damit positiv umgesetzt werden kann.

Wie in der Detailausarbeitung festgelegt, wird ein Frequenzumrichter des Unternehmens NORD mit internen IOs verwendet. Da es im Testaufbau wenige Signale gibt, wird die interne Erweiterung (SK CU4-IOE2-X) nicht benötigt. Jeder FU ist jedoch mit der externen Profisafe Schnittstelle (SK TU4-PNS-C) ausgestattet.

Zusätzlich zu den IOs im Frequenzumrichter wird ein externes Safety IO-Modul von Siemens (ET 200eco PN) für einen E-Stop in das Netz implementiert. Zum Revidieren der Fehler wird ein Acknowledge Button verwendet. Das Revidieren der Fehler erfolgt normalerweise über das HMI, im Testaufbau wird es mit einem externen Push-Button durchgeführt. Dieser Button ist ebenfalls über das Siemens IP76-Modul im Netz eingebunden. Das IO-Modul ist in Serie mit dem Frequenzumrichter verbunden.

Im tatsächlichen Konzept sind die FUs nach dem Reihenschaltungsprinzip verbunden, jedoch nicht mit den IO-Modulen. Da im Testaufbau nur ein FU vorhanden ist wird die Daisy Chain mit dem externen IO-Modul getestet.

Um die internen IOs von NORD zu testen wird ein Lichtgitter, zweikanalig mit dem FU verbunden. Außerdem ist der sichere Ausgang des SK TU4-PNS-C mit dem SK 200E verbunden. Der FU hat nur einen sicheren Eingang. Da für jeden Motor der Ballenlinie ein STO benötigt wird, ist dieser sichere Eingang immer durch die externe Profinet Schnittstelle belegt.

Eine Siemens-PLC (SIMATIC S7-1517F) wird für die Steuerung verwendet.

Zum Steuern und Parametrieren der Frequenzumrichter wird die Software NORD CON verwendet. Darüber wird vorab die IP-Adresse und der Geräte name vergeben und die F-Adresse eingegeben.

In Tia Portal V16 werden das IO-Modul und das Profisafe Kommunikationsmodul in das Netzwerk hinzugefügt.

Für die Steuerung wird ein Programm entwickelt, mit dem die der Motor durch Betätigung des E-Stops oder durch Input am Lichtgitter gestoppt wird und über den Push-Button der Fehler revidiert und der Betrieb wieder aufgenommen werden kann.

Über die Monitoring Funktion von NORD CON können die Zustände der Ein- und Ausgänge beobachtet werden.

Der Test zeigt, dass die Umsetzung mit NORD Drivesystems möglich ist.

Im Test wurde nicht berücksichtigt, dass der der Acknowledge Button im Normalfall über das HMI betätigt wird und der Test mit nur einem Frequenzumrichter umgesetzt wurde. Dieser Abweichung wurde jedoch mit der Serienschaltung des IO-Moduls anstelle eines Frequenzumrichters entgegengewirkt.

In Abbildung 27 ist ein Testaufbau zu sehen, bei dem ein Conveyor mit einem NORD Motor mit aufgesetztem FU betrieben wurde. Dieser Testaufbau wurde in der Andritz AG durchgeführt.



Abbildung 27: Beispiel eines Testaufbaus mit NORD FUs, Quelle: Andritz.

12 ERGEBNISSE UND AUSBLICK

Durch die dezentrale Auslegung der Ballenlinie ergeben sich viele Vorteile die zu Kostensenkungen führen. In diesem Kapitel sind die Ergebnisse der Arbeit zusammengefasst. Außerdem wird auf offene Risiken hingewiesen und die nächsten Schritte werden erläutert.

12.1 Ergebnisse

Bisher wird die Ballenlinie zentral ausgelegt. Durch das neue Konzept werden die MCCs aufgelöst und die Frequenzumrichter direkt auf dem Equipment angebracht. Auch die RIOs werden aufgelöst. Die IOs sind direkt im Feld, am Equipment angebracht. Es werden IOs in den Frequenzumrichtern und mit IP67-Modulen verwendet. Indem alle Komponenten, die benötigt werden, um ein einzelnes Equipment zu betreiben, direkt auf das Equipment gebracht werden, wird dieses modularisiert.

Mit Ausnahme der Steuerung und Sicherheitsvorrichtungen, ist jede Funktion direkt am Equipment vorhanden. Dies schränkt die Vorteile der Dezentralisierung jedoch nicht ein.

Durch die Modularität des Equipments, können die einzelnen Maschinen standardisiert werden, wodurch sich der Aufwand des Engineerings verringert. Das Equipment wird vorab gefertigt, wodurch sich die Montagestunden auf der Baustelle verringern. Wird das Equipment vorab auch getestet, so verringern sich auch die Inbetriebnahmezeiten. Obwohl das Equipment nicht dezentral gesteuert ist, kann es mit einer Test-PLC vorab getestet werden.

Eine dezentrale Steuerung bringt in vielen Bereichen einen größeren Arbeitsaufwand. Da die Software bereits modular aufgebaut ist, ist das Engineering derzeit nicht aufwendig (Siehe: Unterkapitel 3.3, Unterpunkt: Modulare Module). Des Weiteren wird für gewisse Anwendungen eine zentrale Steuerung benötigt, beispielsweise für das Balettracking, mit dem Informationen über einzelne Ballen gespeichert werden. Aus diesem Grund kann eine zentrale PLC nie ganz ersetzt werden.

Für die Bedienung der Anlage gibt es ein eigenständiges Konzept. Anstelle von fixierten Bedienstationen werden Tablets verwendet. Dadurch wird die Bedienung der Anlage flexibler und die Kosten werden gesenkt, da pro Linie nur zwei Tablets benötigt werden.

Das Konzept wurde in einem Testaufbau geprüft. Nach der Erstellung einer Kalkulation wird ein Angebot erstellt und mit neuen Projekten verkauft.

12.2 Ausblick und weitere Schritte

In den weiteren Schritten wird das Konzept in allen beteiligten Abteilungen umgesetzt. Bestehende Templates werden ausgebessert. Workflows, die sich ändern, werden neu definiert. Für Equipments, die vorab getestet werden sollen, muss Personal eingeschult werden, das diese Tests durchführt. Da sich aus dem Konzept ein neuer Standard entwickelt, ist es wichtig diesen, wie in Kapitel 3.1 beschrieben wurde, in allen beteiligten Disziplinen umzusetzen.

Sicherheitsvorrichtungen

Durch das neue Konzept ist die Ballenlinie bis zu einem gewissen Grad dezentral ausgelegt. Hinsichtlich einiger Aspekte ist das Equipment mit diesem Konzept jedoch nicht modular aufgebaut.

Ein Bereich, der nicht dezentral ausgelegt ist, sind die Sicherheitsvorrichtungen. Sowohl die Sicherheitszäune als auch die E-Stops und Alarmleuchten sind von den Equipments unabhängig ausgelegt, obwohl sie notwendig sind, um die Anlage in Betrieb nehmen zu dürfen.

Um die Sicherheitszäune in Zukunft weglassen zu können, gibt es mehrere Ansätze, die verfolgt werden können. Zum einen kann das erforderte Sicherheitslevel durch mechanische Maßnahmen erreicht werden. Diese Abdeckungen, führen in vielen Fällen zu schlechterer Bedienbarkeit und umständlicher Wartung.

Eine andere Möglichkeit wäre ein Sicherheitskonzept, das es möglich macht, die Anlage ohne Sicherheitszäune zu bauen, wären visuelle Zutrittsüberwachungen. Zutrittsüberwachungen, beispielsweise auf Basis von Kamerasystemen werden angewandt, wenn Personen häufig die Produktionsanlage betreten müssen. Außerdem muss sichergestellt werden, dass es keinen Totwinkel gibt. Diese Variante würde das Equipment nicht modularisieren. Aufgrund des offenen Aufbaus der Anlagen wäre die Umsetzung schwierig, da es keine definierten Zugangsbereiche gibt.

Eine dritte Möglichkeit wäre es, die Anlage so zu entwerfen, dass Bedienpersonen nicht direkt an die Produktionsanlage herantreten müssen. Die Vision, von menschenleeren Fabriken ist ein Konzept, das im Zuge von Industrie 4.0 oft genannt und angestrebt wird. Das benötigte Bedienpersonal der Ballenlinie ist bereits sehr gering. Es gibt wenige Standardanwendungen, die von Personen durchgeführt werden. Oft ist ein Eingreifen aufgrund von Sonderfällen notwendig, beispielsweise Fehler, die nicht häufig auftreten, weshalb eine automatisierte Lösung dieser Fehler noch zu umständlich wäre.

Ein weiterer Punkt der Sicherheitsvorrichtungen sind E-Stops. Diese, werden weiterhin in Profinet-fähige IO-Module verdrahtet. E-Stops mit direktem Profinet-Anschluss könnten diesen Planungsaufwand ebenfalls verringern.

Offene Risiken

Das Konzept ist im Detail ausgearbeitet und neue Komponenten sind getestet. Der nächste Schritt ist die Umsetzung der neuen Ausführung in einem Projekt.

Das Konzept wird für aktuelle Projekte angeboten. Ein offenes Risiko ist die Akzeptanz der Kund*innen. Zum einen bezüglich des Konzepts selbst, zum anderen bezüglich des neuen Lieferanten NORD. NORD ist ein international vertretenes Unternehmen und die Produkte werden gebrandet, so dass sie das Label des Herstellers der Ballenlinie tragen. Das Risiko einer Ablehnung ist nicht hoch, aber dennoch gegeben.

Ein weiteres Risiko ist die Akzeptanz intern im Team der Automatisierung. Da es nie eine Änderung der Ausführung gab, kann es zu internem Widerstand gegen Änderungen kommen.

Ausblick

Um die Anlage vollständig dezentral auszulegen, wird auf das vierte oder fünfte Konzept, mit voll modularen Equipments hingearbeitet.

Einige Ansätze wurden nicht weiterverfolgt, da sie aus technischen Gründen noch nicht umsetzbar sind. Ein Beispiel dafür ist IO-Link, welches sicherheitstechnisch noch nicht geeignet ist. Bei Weiterentwicklungen der Technik sollte die Anwendung von IO-Link neu evaluiert werden.

Aber auch eine Evaluierung ob für mehrere Equipments lokale PLCs sinnvoll sind, kann zu mehr Modularität führen.

LITERATURVERZEICHNIS

Gedruckte Werke (23)

- Broy, Manfred (2010): *CYBER-PHYSICAL SYSTEMSINNOVATION DURCH SOFTWARE- INTENSIVE EINGEBETTETE SYSTEME*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg , München
- Dispan, Jürgen (2016): *Modulare Bauweise im Maschinen- und Anlagenbau Wirkungen von Baukastensystemen auf Beschäftigung*, 2 Auflage, Stuttgart
- Drews, Günter; Hillebrand, Norbert (2010): *Lexikon der Projektmanagement-Methoden*, Haufe, Freiburg
- Dürkop, Lars (2017): *Automatische Konfiguration von Echtzeit-Ethernet*, Springer Vieweg, München
- Freier, Pascal (2021): *Empirische Erkenntnisse und Gestaltungsansätze für Entscheidungsunterstützungssysteme in der Ablaufplanung im Kontext von Cyber-Physischen Systemen*, Cuvillier Verlag Göttingen, Göttingen
- Früh, Karl; Schaudel, Dieter; Ubas, Leon (2008): *Handbuch der Prozessautomatisierung - Prozessleittechnik für verfahrenstechnische Anlagen*, 4 Auflage, Oldenbourg Industrieverlag, München
- Geisberger, Eva (2012): *agendaCPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber Physical Systems*, Springer Vieweg, München
- Hall, Arthur (1962): *A Methodology for Systems Engineering*, D. Van Nostrand Company, Inc, New York
- Kausche, Michael (2018): *Wirtschaftlichkeit schwimmender Offshore Windenergieanlagen - Wirtschaftlich-technische Untersuchungen und Kostensenkungspotenziale*, Springer Gabler, Wiesbaden
- Krips, David (2017): *Stakeholdermanagement*, Springer Vieweg, Berlin
- Lang, Christian (2010): *Die Stakeholderanalyse im Rahmen des Projektmanagements*, GRIN Verlag, München
- Laux, Helmut; Gillenkirch, Robert; Schenk-Mathes, Heike (2012): *Entscheidungstheorie*, Springer Gabler, Frankfurt am Main
- Melzer, Ingo (2010): *Service-orientierte Architekturen mit Web Services: Konzepte - Standards - Praxis*, 4 Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
- Noltemeier, Hartmut (1970): *Sensitivitätsanalyse bei diskreten linearen Optimierungsproblemen*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin
- Pigan, Raimond; Metter, Mark (2008): *Automatisieren mit PROFINET: Industrielle Kommunikation auf Basis von Industrial Ethernet* , 2 Auflage, Publicis Corporate Publishing, Berlin
- Raupp, Nikolaus (2012): *Das Entscheidungsverhalten japanischer Venture-Capital-Manager unter dem Einfluss der Risikowahrnehmung im Verbund mit anderen Faktoren*, Eul Verlag, Lohmar
- Romeike, Frank (2018): *Risikomanagement*, Springer Gabler, München

Rommelfanger, Heinrich; Eickemeier, Susanne (2002): *Entscheidungstheorie - Klassische Konzepte und Fuzzy-Erweiterungen*, Springer - Verlag Berlin Heidelberg GmbH, Frankfurt

Schmertusch, Thomas; Krabbes, Markus (2018): *Automatisierung 4.0 - Objektorientierte Entwicklung modularer Maschinen für die digitale Produktion*, Hanser, München

Scholz, Peter (2005): *Softwareentwicklung Eingebetteter Systeme: Grundlagen, Modellierung*, Springer, Heidelberg

Schuh, Günther; Klappert, Sascha (2011): *Technologiemanagement - Handbuch Produktion und Management 2*, Springer, Heidelberg

Sommerville, Ian (2012): *Software Engineering*, 9 Auflage, Pearson, Hoboken

Vogel-Heuser, Birgit; Bauernhansl, Thomas (2017): *Handbuch Industrie 4.0 Bd. 2 - Automatisierung*, in: Hompel, Michael (Hrsg.): , 2 Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, S. 73 - 166

Vogel-Heuser, Birgit; Bauernhansl, Thomas (2017): *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4 - Allgemeine Grundlagen*, 2 Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden

Wissenschaftliche Artikel (1)

Wieben, Hans-Jürgen (2017): *Ganzheitliches Risikomanagement nach ISO 31000 im mittelständischen Maschinen-und Anlagenbau Ganzheitliches Risikomanagement nach ISO 31000*, in: *Ganzheitliches Risikomanagement nach ISO 31000 im mittelständischen Maschinen-und Anlagenbau Ganzheitliches Risikomanagement nach ISO 31000*, S. 8

Online-Quellen (14)

Balluff www.balluff.com

<https://www.balluff.com/local/at/industries-and-solutions/solutions-and-technologies/io-link/io-link-benefits/>
[Stand: 15.Mai.2021]

PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. www.io-link.com

https://io-link.com/share/Downloads/At-a-glance/IO-Link_System_Description_eng_2018.pdf [Stand: 17.05.2021]

ISAP AG (2018): www.isap.de

<https://isap.de/magazin/detail/Blog/Post/zeige/cyber-physische-systeme/> [Stand: 18.05.2021]

RS www.rs-online.com

<https://at.rs-online.com/web/generalDisplay.html?id=ideen-und-tipps/condition-monitoring-leitfaden>
[Stand: 20.05.2021]

WIKA www.wika.de

<https://blog.wika.de/know-how/io-link/> [Stand: 05.07.2021]

BROSA (2021): www.brosa.net

<https://www.brosa.net/glossar/profinet/> [Stand: 05.07.2021]

HMS Industrial Networks (2008-2019): www.feldbusse.de

<https://www.feldbusse.de/Profinet/profinet.shtml> [Stand: 01.07.2021]

Siemens AG (2018): www.siemens.com

<https://new.siemens.com/de/de/produkte/automatisierung/industrielle-kommunikation/profinet/fertigungsindustrie.html> [Stand: 02.07.2021]

Profibus, Profinet www.profibus.com

<https://www.profibus.com/index.php?eID=dumpFile&t=f&f=51713&token=5e6746cb84a7421d187681a0d9bd545388cb2a5e> [Stand: 01.07.2021]

Kunbus www.kunbus.de

<https://www.kunbus.de/profinet-cba.html> [Stand: 03.07.2021]

RTA - Real Time Automation www.rtautomation.com

<https://www.rtautomation.com/technologies/profinet-io/> [Stand: 02.07.2021]

Kunbus www.kunbus.de

<https://www.kunbus.de/profinet-io.html> [Stand: 02.07.2021]

HMS Industrial Networks (2008): www.feldbusse.de

<https://www.feldbusse.de/Profinet/grundlagen.shtml> [Stand: 03.07.2021]

Lustenberger, Christoph (2017): www.zhaw.ch

<https://blog.zhaw.ch/industrie4null/2017/02/06/von-der-mechatronik-zu-cyber-physikalischen-systemen/> [Stand: 17.05.2021]

Normen (3)

(2015): : *Terminierung oder Fortführung von Innovationsprojekten: Entscheidungsprozess und Einflussfaktoren*

(2009): : *ISO 31000:2009, Risk management - Principles and guidelines*

OTHmind (Hrsg.) (2018): : *Grundlagen der SPS-Programmierung / Prozessinformatik*

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Darstellung Ballenlinie, Quelle: Andritz AG.....	1
Abbildung 2: Ablauf der Stakeholderanalyse, Quelle: Drews/Hillebrand (2010), S. 188.	6
Abbildung 3: Modulare Maschinen erzeugen bei hoher Komplexität einen niedrigeren Arbeitsaufwand, Quelle: Schmertusch/Krabbes (2018), S. 25.....	13
Abbildung 4: Gliederung der „Plug and Produce“ Ansätze, je nach den Automatisierungsstrukturen, Quelle: Dürkop (2017), S. 66.....	16
Abbildung 5: Profinet Logo, Quelle: BROSA (2021), Online-Quelle [05.07.2021].	18
Abbildung 6: Unterschiedliche Geräteklassen von Profinet Feldgeräten, Quelle: HMS Industrial Networks (2008), Online-Quelle [03.07.2021].	20
Abbildung 7: Logo IO-Link, Quelle: WIKA, Online-Quelle [05.07.2021].	21
Abbildung 8: Ein mechanisches System in einem CPS, Quelle: Lustenberger (2017), Online-Quelle [17.05.2021].	23
Abbildung 9: Aktuelle Auslegung der Antriebe mit Frequenzumrichtern im MCC, Quelle: Eigene Darstellung.	29
Abbildung 10: Dezentrale Auslegung der Antriebe, Quelle: Eigene Darstellung.	30
Abbildung 11: Aktuelle Topologie der IOs im RIO, Quelle: Eigene Darstellung.....	31
Abbildung 12: Aktuelle zentrale Auslegung der Produktionsanlage, Quelle: Eigene Darstellung.	32
Abbildung 13: Auslegung des Equipments ohne MCCs und RIOs, Quelle: Eigene Darstellung.	33
Abbildung 14: Das Equipment hat einen Schrank mit lokaler PLC, Quelle: Eigene Darstellung.	33
Abbildung 15: Ein vollkommen modulares Equipment, der Aufbau ist ohne Schaltschrank. Quelle: Eigene Darstellung.	34
Abbildung 16: Verwendung eines FUs mit PLC-Funktionalität und on-board IOs, Quelle: Eigene Darstellung.	35
Abbildung 17: In der Anlage gibt es fixierte Bedienstationen mit Touchpanels, Quelle: Eigene Darstellung.	36
Abbildung 18: Direkt an den Equipments sind Bedienstationen angebracht, Quelle: Eigene Darstellung.	36
Abbildung 19: Mobile Geräte werden zur Bedienung der Anlage verwendet, Quelle: Eigene Darstellung.	37
Abbildung 20: Grafische Darstellung der Ergebnisse der Nutzwertanalyse, Quelle: Eigene Darstellung.	43
Abbildung 21: Frequenzumrichter mit on-board Funktion von Siemens, SEW und NORD DRIVESYSTEMS, Quelle: Eigene Darstellung.	45

Abbildung 22: Übersicht der Angebote der Lieferanten Siemens, SEW und NORD, Quelle: Eigene Darstellung.	46
Abbildung 23: Aktueller Aufbau des Netzwerks, Quelle: Eigene Darstellung.	49
Abbildung 24: Neuer Aufbau des Netzwerks, Quelle: Eigene Darstellung.	50
Abbildung 25: Aktueller und neuer Aufbau der Verdrahtung der IOs, Quelle: Eigene Darstellung.....	51
Abbildung 26: Bereiche in denen es zu Einsparungen durch das neue Konzept kommt, Quelle: Eigene Darstellung.	53
Abbildung 27: Beispiel eines Testaufbaus mit NORD FUs, Quelle: Andritz.	55

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Beispiel Tabelle Nutzwertanalyse, Quelle: Eigene Darstellung.	9
Tabelle 2: Sammlung von Stakeholdern, Quelle: Eigene Darstellung.	28
Tabelle 3: Ergebnis der Gewichtung der Kriterien, Quelle: Eigene Darstellung.	39
Tabelle 4: Ergebnisse der Bewertung des Erfüllungsgrads, Quelle: Eigene Darstellung.	40
Tabelle 5: Gesamtnutzwert der fertiggestellten Nutzwertanalyse, Quelle: Eigene Darstellung.	40
Tabelle 6: Bewertung des Erfüllungsgrades der HMI-Konzepte, Quelle: Eigene Darstellung.	41
Tabelle 7: Gesamtnutzwert der HMI-Konzepte, Quelle: Eigene Darstellung.	41
Tabelle 8: Unterschiede der Ergebnisse, je nach Bewertungsgruppe, Quelle: Eigene Darstellung.	42

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

MCC	Motor Control Center
FU	Frequenzumrichter
RIO	Remote I/O
HMI	Human Machine Interface
SOA	Service-orientierte Architektur
PLC	Programmable Logic Controller
CPU	Central Process Unit
SPS	Speicher Programmierbare Steuerung
FAT	Factory Acceptance Test
MAS	Multi Agent System
STO	Safe Torque Off
CPS	Cyber-Physical System
IoT	Internet of Things
CBA	Component based Automation