“Konzeption und Realisierung eines Demontageprozesses“

Studienarbeit T3_3101

des Studiengangs Maschinenbau – Produktionstechnik

an der Dualen Hochschule Baden-Württemberg Ravensburg

Campus Friedrichshafen

Von

Tobias Klösel und Lukas Treichel

03.07.2024

Bearbeitungszeitraum:	02.10.2023 – 15.07.2024
Matrikelnummern, Kurs:	3468478, TMP21
	2523483, TMP21
Betreuer der Studienarbeit:	Prof. Dr.-Ing. Thomas Dietmüller

I. Eidesstattliche Erklärung

gemäß Ziffer 1.1.13 der Anlage 1 zu §§ 3, 4 und 5 der Studien- und Prüfungsordnung für die Bachelorstudiengänge im Studienbereich Technik der Dualen Hochschule Baden-Württemberg vom 29.09.2017 in der Fassung vom 25.07.2018.

Ich versichere hiermit, dass ich meine Studienarbeit mit dem Thema:

“Konzeption und Realisierung eines Demontageprozesses“

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

Friedrichshafen, den 03.07.2024



Tobias Klösel Lukas Treichel

II. Hinweis

In dieser Arbeit wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulin verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

III. Kurzfassung

Die Studienarbeit zur Konzeption und Realisierung eines Demontageprozesses im produktionstechnischen Zentrum entstand aufgrund des Leitgedankens, eine Kreislaufwirtschaft einzuführen, in der die genutzten Komponenten wiederverwendet werden können. Das Ziel bestand darin, das bestehende Bandsystem mit einem zweiten Prozess zu erweitern, um die montierten Gehäuse nach ihrer Nutzung zu demontieren und einem erneuten Produkt zuzuführen.

Im ersten Schritt wurde ein Konzept des Demontageprozesses entwickelt, um eine Grundlage für die Realisierung zu schaffen. Hierfür wurden unter anderem Anforderungen an das System detailliert erarbeitet, die notwendig sind, um den Prozess in das Gesamtsystem zu integrieren. Darauf aufbauend konnte ein Entwurf für den Prozessablauf erstellt werden, der wiederum die Grundlage für die Erweiterung des Bandsystems bildet.

Mit diesem Konzept konnten die für die Umsetzung notwendigen Tätigkeiten festgelegt werden. Die wesentlichsten Aspekte waren hierbei die Beschaffung neuer Hardware-Komponenten, die Integration eines Roboters, die Installation eines Greifers, die Erweiterung des Transfersystems durch eine Rollenbahn und ein Materiallager, die konstruktive Überarbeitung der Werkstückträger, der Aufbau einer EOL-Kamera sowie die Installation von QR-Code-Scannern.

Durch diese Maßnahmen konnte der Demontageprozess weitestgehend umgesetzt und dem Bandsystem zugefügt werden. Zusätzlich wurde durch das Erarbeiten weiterer Optimierungsmöglichkeiten eine Grundlage für weitere Veränderungen geschaffen, die in der Zukunft umgesetzt werden können.

IV. Abstract

The student project to design and implement a disassembly process in the production technology centre was based on the guiding principle of introducing a circular economy in which the components used can be reused. The aim was to expand the existing conveyor system with a second process in order to disassemble the assembled housings after use and feed them into a new product.

The first step was to develop a concept for the disassembly process in order to create a basis for realisation. To this end, the requirements for the system that are necessary to integrate the process into the overall system were worked out in detail. Based on this, a design for the process sequence was created, which in turn formed the basis for the expansion of the conveyor system.

With this concept, the activities necessary for the realisation could be determined. The most important aspects were the procurement of new hardware components, the integration of a robot, the installation of a gripper, the expansion of the transfer system with a roller conveyor and a material storage system, the design revision of the workpiece carriers, the installation of an EOL camera and the installation of QR code scanners.

These measures enabled the disassembly process to be implemented as far as possible and added to the conveyor system. In addition, the development of further optimisation options created a basis for further changes that can be implemented in the future.

V. Inhaltsverzeichnis

I. Eidesstattliche Erklärung II
II. Hinweis III
III. Kurzfassung IV
IV. Abstract V
V. Inhaltsverzeichnis VI
VI. Abkürzungsverzeichnis VIII
VII. Abbildungsverzeichnis IX
1 Einleitung 1
1.1 Problemstellung 1
1.2 Ziel der Arbeit 1
2 Demontageprozess als Studienarbeit 3
2.1 Historie des Projekts 3
2.2 Stand der Technik 4
3 Theoretische Grundlagen 8
3.1 Kreislaufwirtschaft 8
3.1.1 Hintergründe für die Einführung des Wirtschaftsmodells 8
3.1.2 Nachhaltigkeit 10
3.2 Umdenken von der Linear- zur Kreislaufwirtschaft 13
3.3 Ziele der Kreislaufwirtschaft 18
3.3.1 Design Circular 18
3.3.2 7R der Kreislaufwirtschaft 20
3.4 Aktuelle Daten zur Kreislaufwirtschaft 22
3.5 Aktuelle Forschungsprojekte zur Kreislaufwirtschaft 26
4 Prozess vor Projektstart 28

5 Konzeption des Demontageprozesses 34
5.1 Trennung der Prozesse 42
5.2 Klärung der Schnittstellen 49
6 Einführung des Demontageprozesses 53
6.1 Neukonzipierung Werkstückträger 53
6.2 Integration eines UR5E-Roboters 54
6.3 Aufbau der QR-Code Scanner 56
6.4 Erweiterung des Transfersystems 57
6.5 Aufbau einer EOL-Kamera 58
6.6 Aufbau eines Materiallagers 59
7 Handlungsempfehlung und Fazit 61
VIII. Literaturverzeichnis LXIV
IX. Anhang LXVI

VI. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
d.h.	das heißt
EOL	End-of-Line
PTZ	Produktionstechnisches Zentrum
RITZ	Regionales Innovations- und Technologietransfer Zentrum

VII. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau des Bandsystems als digitaler Zwilling 4
Abbildung 2: Produktvariante 1 der Montage 4
Abbildung 3: Bolzen für Produktvariante 1 5
Abbildung 4: Vier Lagerplätze des Huskys 5
Abbildung 5: Ur5e Roboter 6
Abbildung 6: Transportband mit Wendestation und Lichtsensoren 6
Abbildung 7: Entwicklung des Erdüberlastungstages 9
Abbildung 8: Aspekte der Nachhaltigkeit 11
Abbildung 9: Erweiterte Nachhaltigkeit 12
Abbildung 10: Linearwirtschaft 13
Abbildung 11: Linearwirtschaft mit den dazugehörigen Varianten 14
Abbildung 12: Kreislaufwirtschaft 15
Abbildung 13: Erweiterte Kreislaufwirtschaft 17
Abbildung 14: Die 7R der Kreislaufwirtschaft 20
Abbildung 15: Weltweites Abfallaufkommen 22
Abbildung 16: Abfallaufkommen nach Regionen 23
Abbildung 17: Recyclingquote der Abfallarten in der EU 2020 24
Abbildung 18: Anzahl der Beschäftigten im Sektor Kreislaufwirtschaft in der EU 25
Abbildung 19: Forschungsprojekt EIBA 26
Abbildung 20: Kameras zur Bewertung des Produktzustandes 27
Abbildung 21: Werkstückträger 28
Abbildung 22: Wendestation 29
Abbildung 23: Werkstückübergabe 30

Abbildung 24: Bin-Picking 31
Abbildung 25: Montage Handarbeitsplatz 32
Abbildung 26: Husky beladen 33
Abbildung: 27 Mind-Map 34
Abbildung 28: Demontage Konzept 35
Abbildung 29: CTQ 37
Abbildung 30: FUP 43
Abbildung 31: Start des Bandsystems 44
Abbildung 32: Unterscheidung der Tätigkeiten 44
Abbildung 33: Be- und Entladen des Huskys 45
Abbildung 34: Auflegen des Demontageteils 45
Abbildung 35: Einfahren der Bin-Picking-Stopper 46
Abbildung 36: Unterscheidung Handarbeitsplatz 47
Abbildung 37: Demontage am Handarbeitsplatz 47
Abbildung 38: Unterscheidung EOL-Prüfung 48
Abbildung 39: Sortierung der Bauteile 48
Abbildung 40: Schnittstellen Übersicht 50
Abbildung 41: 3D-Druck des neuen Werkstückträgers 53
Abbildung 42: Anpassungen des Werkstückträgers 54
Abbildung 43: Roboter UR5e 55
Abbildung 44: QR-Code Scanner 56
Abbildung 45: Rollenbahn 57
Abbildung 46: Wenglor Kamera 59
Abbildung 47: Materiallager am Ende des Bandsystems 60
Abbildung 48: Prozessablauf Demontage 63

1 Einleitung

In der heutigen Zeit rückt der Gedanke einer nachhaltigen Produktion immer weiter in den Vordergrund. Ökonomisch sollen größtmögliche Gewinne erreicht werden, ohne dabei ökologische und soziale Defizite zu generieren. Um insbesondere den ökologischen Aspekt gewährleisten zu können, ist es unumgänglich, sich Gedanken zu einem effizienten Ressourcenverbrauch mit der dazugehörigen Einsparung von Materialien zu machen. Eine Möglichkeit dafür ist das Recyceln bzw. das erneute Verwenden von benutzen Materialien und Komponenten. Damit diese bzw. einzelne Teilkomponenten derer mehrmals mit einer ausreichenden Qualität genutzt werden können, ist eine vollständige und materialschonende Demontage notwendig. Um ein System zu entwickeln, in dem montierte Bauteile nach der Nutzung wieder demontiert werden können, bietet sich das Prinzip einer Kreislaufwirtschaft an.

1.1 Problemstellung

Die Produktion in der Zukunftsfabrik Bodensee verfolgt ebenfalls das Ziel, eine sogenannte Kreislaufwirtschaft automatisiert einzuführen. Dabei sollen die zuvor montierten Bauteile nach einem Demontageprozess wieder neuen Produkten zugeführt werden (Remanufacturing). Diese Demontage soll dabei ebenfalls über das selbe Bandsystem verlaufen, sodass die Teilkomponenten für eine erneute Verwendung zur Verfügung gestellt werden können.

1.2 Ziel der Arbeit

Aus diesen Gründen ist das Ziel dieser Arbeit, einen Demontageprozess für das bestehenden Produktionsnetzwerk zu konzipieren und diesen darauf aufbauend im produktionstechnischen Zentrum zu realisieren. Dafür muss zu Beginn die Einarbeitung in das Produktionssystem erfolgen, um den bestehenden Prozess vollumfänglich zu verstehen und auf dessen Grundlage einen Demontageprozess planen und in die Realität umsetzen zu können.

Als Grundlage für die Einführung eines neuen Prozesses soll dabei die Erweiterung des Bandsystems, die Integration eines neuen Roboters sowie die Installation neuer Sensoren und technischer Komponenten dienen. Besonders wichtig ist dabei die Kommunikation zwischen den verschiedenen Geräten, damit eine automatische Unterscheidung zwischen Montage und Demontage gewährleistet werden kann. Ebenfalls sollen die Schnittstellen zur SPS bzw. zum Schaltschrank, zum Digitalen Zwilling, zum ERP-System, zur Werkstückübergabe, zum Handarbeitsplatz, zur End-of-Line-Prüfung und zum Transfersystem miteinander verknüpft werden. Hierbei nimmt die Absprache und die Zusammenarbeit mit den Gruppen dieser Studienarbeiten eine sehr wichtige Rolle ein, damit das in dieser Arbeit entwickelte Konzept auch umgesetzt werden kann. Schlussendlich soll gemeinsam mit weiteren Studienarbeiten das Bandsystem überarbeitet und erweitert werden, sodass sowohl montierte als auch demontierte Bauteile zugeführt werden können und sich somit ein Kreislauf der Produkte bildet.

2 Demontageprozess als Studienarbeit

Um mit der Bearbeitung des Projektes zu beginnen, gilt es zunächst, den aktuellen Stand des Bandsystems zu verstehen und sich einen Überblick über die bisherigen Tätigkeiten zu erarbeiten. Dazu dienen unteranderem die Dokumentationen der vorherigen Studienarbeiten sowie Gespräche mit PTZ-Mitarbeitern. Außerdem ist die Absprache mit den anderen Projektteams wichtig, um zu wissen, für welche Bereiche des Bandsystems die entsprechenden Personen zuständig sind.

2.1 Historie des Projekts

Das Projekt zur Schaffung eines automatisierten Produktionsnetzwerks startete im Oktober 2022 im Rahmen der Zukunftsfabrik Bodensee. Verantwortlich für die Umsetzung dieser Idee war ein Team, welches aus Studierenden, Professoren, Laboringenieuren, wissenschaftlichen Mitarbeitern und Doktoranden zusammengesetzt wurde.

Der Einstieg in das Projekt erfolgte in zwei aufeinanderfolgenden Phasen: Die erste legte die Grundlagen des Bandsystems fest, wofür zunächst ein Layout erstellt wurde und die dafür notwendigen Hardwarekomponenten beschafft und aufgebaut wurden. In Phase zwei wurden diese Komponenten schließlich miteinander vernetzt und erweitert, sodass erste Funktionen und Daten ausgewertet und getestet werden konnten.

Nach der Fertigstellung dieser Arbeitsschritte und der Einarbeitung in die Spezifikationen der Komponenten folgte die Inbetriebnahme des Gesamtsystems. Folglich wurde dies kontinuierlich erweitert, um einen optimalen Prozess zu erhalten. In folgender Abbildung 1 kann man diesen Aufbau nochmals anhand eines in einer Vorgängerarbeit erstellten digitalen Zwillings sehen.

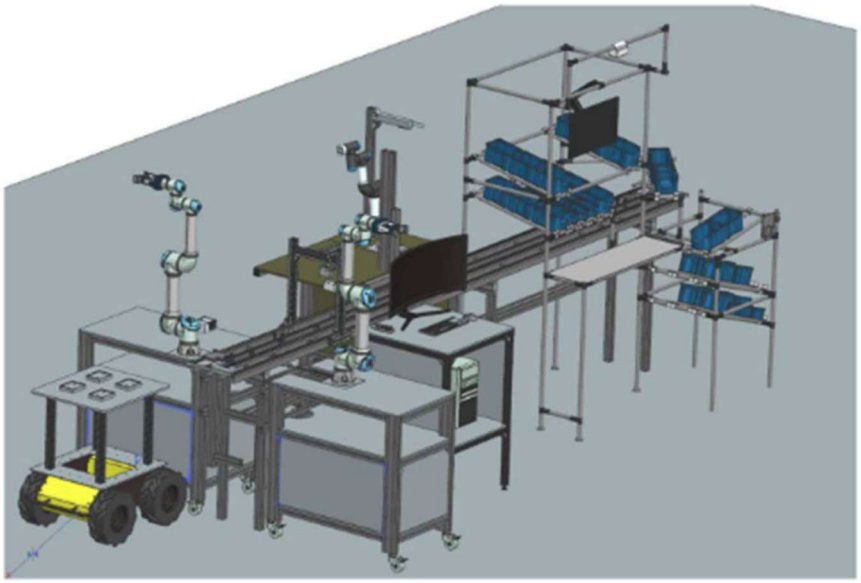


Abbildung 1: Aufbau des Bandsystems als digitaler Zwilling[1]

2.2 Stand der Technik

Auf dem automatisierten Bandsystem wird aktuell lediglich ein Montageprozess für eine Produktvariante durchgeführt, bei welcher zwei Teilkomponenten (siehe Abb. 2) ineinander gesteckt und durch zwei Bolzen (siehe Abb. 3) ergänzt werden. Die Materialbereitstellung erfolgt dabei vollautomatisch, die Montage selbst an einem integrierten Handarbeitsplatz.

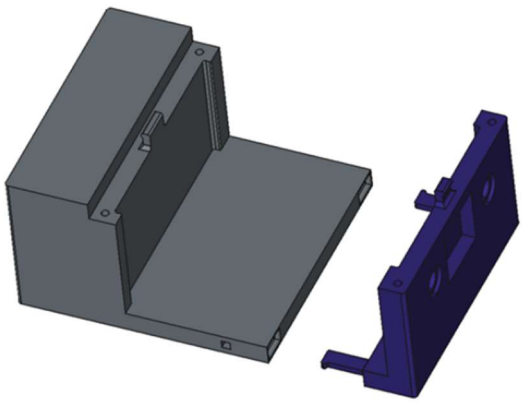


Abbildung 2: Produktvariante 1 der Montage[2]

[1] Projektinterne Zeichnung des PTZ

[2] Projektinterne Zeichnung des PTZ

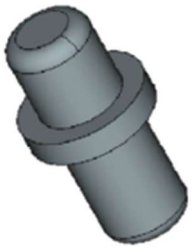


Abbildung 3: Bolzen für Produktvariante 1[3]

Um dieses Produkt automatisiert fertigen zu können, bedarf es einiger technischer Komponenten. Der aktuelle Stand dieser wird im Folgenden kurz erläutert, um ein grobes Verständnis für das System zu bekommen:

Den Transport der Bauteile vom PTZ zum RITZ sowie vom RITZ zum PTZ übernimmt ein fahrbarer Roboter der mithilfe eines Controllers gesteuert wird. Auf diesem sind vier Lagerplätze (siehe Abb. 4), mit den Maßen der Bauteile installiert, wodurch ein sicherer Transport gewährleistet werden kann.



Abbildung 4: Vier Lagerplätze des Huskys

Insgesamt sind drei Roboter der Firma *Universal Robots* in das System integriert. Zwei sind dem Typ Ur5e (siehe Abb. 5) zuzuordnen und dienen zum Greifen und Ablegen von Bauteilen und Werkstückträgern. Dabei erhalten diese Unterstützung von

[3] Projektinterne Zeichnung des PTZ

speziellen Greifern der Firma *Schunk*, die zusätzlich durch 3D-gedruckte Zangen auf die optimale Greifgröße erweitert wurden. Aktuell ist allerdings lediglich einer der Beiden im Einsatz. Der dritte Roboter ist vom Typ Ur3e und dient in Verbindung mit einem Bin-Picking System zur Entnahme der Bolzen aus einem Schüttgutbehälter.

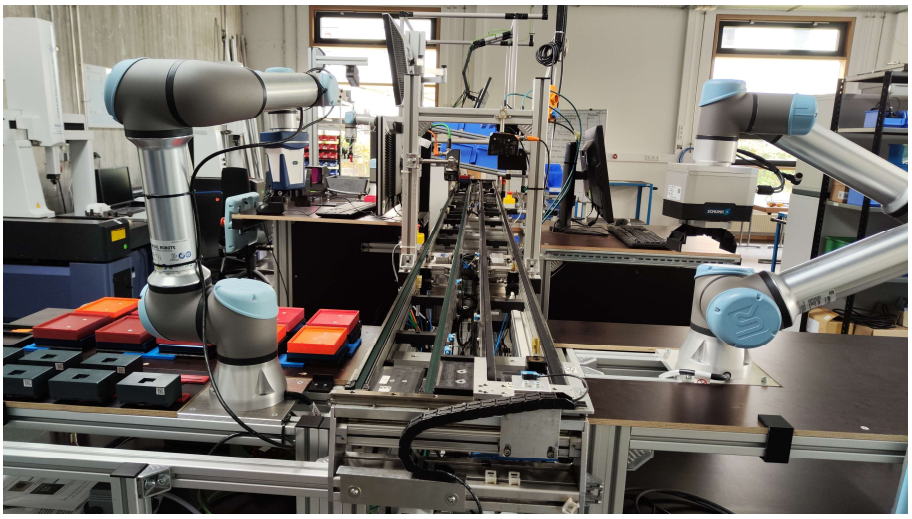


Abbildung 5: Ur5e Roboter

Den Transport der Werkstückträger und der Werkstücke übernimmt ein automatisches Bandsystem der Firma *Bosch* (siehe Abb. 6). Das System ist in zwei parallel verlaufende Bänder aufgeteilt, zwischen denen die Werkstückträger mithilfe zweier pneumatischer Wendestationen übergeben werden können. Die Erkennung des Werkstückträgers erfolgt dabei über Lichtsensoren, die neben dem Band angebracht sind.

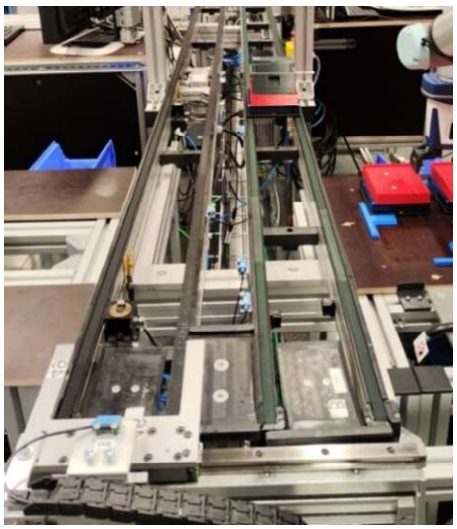


Abbildung 6: Transportband mit Wendestation und Lichtsensoren

Die Montage der Bauteile wird durch einen manuellen Handarbeitsplatz bewerkstelligt. Dabei wird der Mitarbeiter durch ein Werkerassistenzsystem unterstützt und geleitet, um eine korrekte Montage zu gewährleisten. Die Erkennung der Bauteile erfolgt über eine Kamera, wodurch die resultierende Anleitung auf einem Monitor visualisiert und dem Mitarbeiter bereitgestellt werden kann.

Am Ende des Bandes befindet sich nochmals eine Kamera, die für eine End-of-Line Prüfung verantwortlich ist. Hierdurch kann kontrolliert werden, ob die Teile mit ausreichender Qualität montiert worden sind oder nicht.

3 Theoretische Grundlagen

Bei der Einführung eines neuen Demontageprozesses besteht das Ziel darin, eine automatisierte Kreislaufwirtschaft möglichst nachhaltig und effizient einzuführen. Damit dies erreicht werden kann, muss zunächst geklärt werden, wie eine Kreislaufwirtschaft funktioniert, was dabei unbedingt beachtet werden muss und aus welchen Gründen eine Einführung langfristig unvermeidbar ist. Aus diesem Grund werden im Folgenden Abschnitt die theoretischen Grundlagen dazu aufgearbeitet und detailliiert erläutert.

3.1 Kreislaufwirtschaft

Die Erde ist ein geschlossenes System. Diese Aussage verdeutlicht, dass die Ressourcen, die den Menschen auf der Erde zur Verfügung stehen, endlich sind und infolge eines ständig wachsenden Verbrauchs immer knapper werden. Um dieser Ressourcenknappheit entgegenzuwirken, muss ein Umdenken des menschlichen und industriellen Handelns bis hin zu einer nachhaltigeren Lebensweise und Produktion stattfinden. Materialien, Konsum- und Investitionsgüter dürfen nicht nach einer einmaligen Nutzung oder am Ende ihrer Lebensdauer entsorgt oder eliminiert werden. Die Bestandteile müssen anschließend zurückgewonnen und in einen erneuten Wertschöpfungsprozess eingegliedert werden. Der hierdurch entstehende Kreislauf der selben Ressourcen reduziert somit den übermäßigen Verbrauch und wirkt der Knappheit entgegen.[4]

3.1.1 Hintergründe für die Einführung des Wirtschaftsmodells

Die Gründe für die Einführung des Wirtschaftsmodells der Kreislaufwirtschaft und der dadurch resultierenden nachhaltigeren Produktion sind sehr vielfältig. Sie beziehen sich in erster Linie auf die ökologischen Aspekte, da insbesondere die Umwelt vom übermäßigen Ressourcenverbrauch und dem Klimawandel betroffen ist und viele

[4] vgl. Kraft u.a. (2022), S. 1.; vgl. Kreutzer (2023), S. 1.

negativen Folgen davonträgt. Der Meeresspiegel steigt, Eisberge schmelzen, die Anzahl an extremen Wetterkatastrophen wie Dürre oder Waldbrände nehmen zu und die Lebensräume vieler Pflanzen- und Tierarten werden zerstört. All dies resultiert unteranderem daraus, dass beispielsweise über die Elbe jährlich ca. 42 Tonnen Plastik in das Meer gespült werden oder durch das Versickern von ca. 19.000 Tonnen Mikroplastik in die Erde die Bodenqualität deutlich verringert wird.[5]

Dass sich dieser Trend immer weiter fortsetzt und die Umwelt verstärkt darunter leidet, lässt sich ebenfalls mithilfe des sogenannten *Overshoot Day* belegen. Dieser Tag gibt in jedem Jahr den Zeitpunkt an, an dem alle Ressourcen vom Menschen aufgebraucht wurden, die von der Erde selbst in diesem Jahr regeneriert werden können. Dies bedeutet, dass ab diesem Tag der Erde Schäden zugefügt werden und diese überlastet ist.[6]

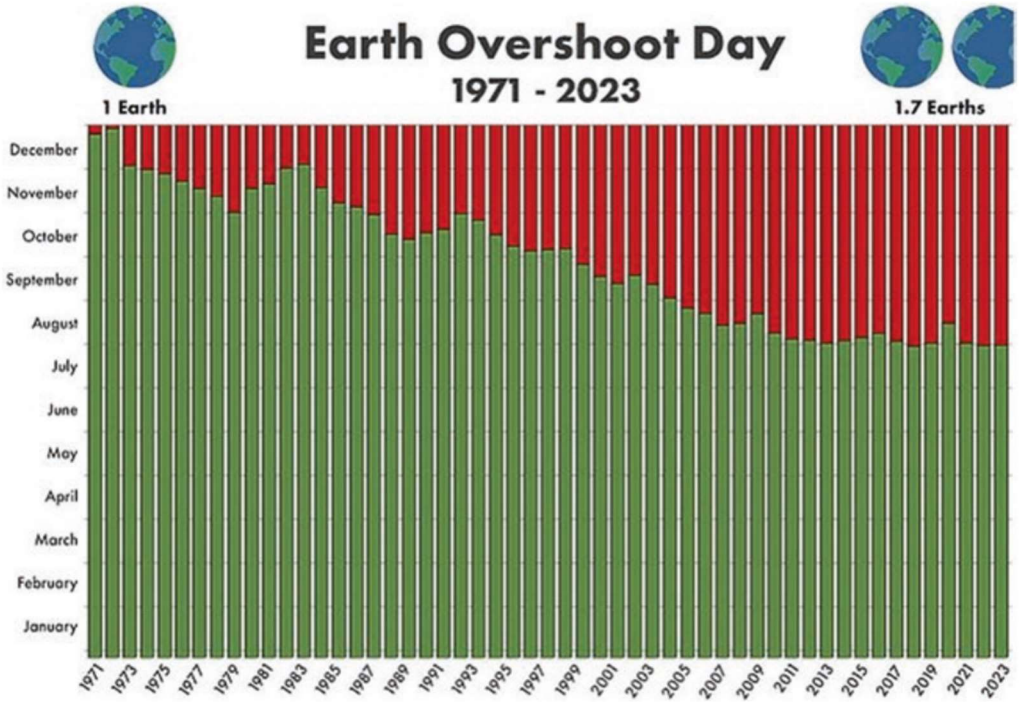


Abbildung 7: Entwicklung des Erdüberlastungstages[7]

[5] vgl. Kreutzer (2023), S. 1.; vgl. Lehmacher/Bödecker (2023), S. 2.; vgl. Gellert u.a. (2012), S. 65.

[6] vgl. Münger (2021), S. 22; vgl. Kreutzer (2023), S. 1 f.

[7] Kreutzer (2023), S. 2.

In Abbildung 7 lässt sich der besagte Trend in den letzten 50 Jahren deutlich erkennen. Man sieht, dass im Jahr 1973 noch alle verbrauchten Ressourcen bis zum Jahresende von der Umwelt regeneriert werden konnten, dieser Tag sich seitdem aber beinahe in jedem Jahr verfrüht hat. Mittlerweile ist das Limit der Regeneration der Erde bereits im August erreicht, sodass theoretisch 1,7 Erden nötig wären, um den Bedarf aus eigener Kraft zu decken. Die Berechnung dieses Erdüberlastungstages erfolgt durch die Auswertung von Treibhausgasen, Holzverbrauch und Abfallproduktion und macht deutlich, dass die Lebensweise nicht nachhaltig ist.[8]

Die Folgen daraus sind ebenfalls sehr schwerwiegend für die Unternehmen und die Industrie selbst, da diese hierdurch Ressourcenknappheiten, Lieferengpässen und Preisschwankungen ausgesetzt sind. Zusätzlich steigen die Preise der Ressourcen aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit kontinuierlich an. All dies führt wiederum dazu, dass viele Unternehmen ihre Existenz nicht mehr aufrechterhalten können und daher gezwungen sind, ihr Unternehmen aufzugeben. Dieser Verlauf ist besonders stark im Bereich der Kleinst- und mittelständische Unternehmen ausgeprägt, da dort die finanzielle Stärke fehlt, um derartige Schwankungen ausgleichen zu können.[9]

3.1.2 Nachhaltigkeit

Das Streben nach einer nachhaltigen Produktion in der Industriebranche gewinnt immer weiter an Bedeutung und Wichtigkeit. Die Herausforderung besteht darin, die Aspekte Soziales, Ökologie und Ökonomie – also Mensch, Natur und Wirtschaftlichkeit – zu vereinen und ein Resultat zu erreichen, dass die Anforderungen in jedem dieser drei Bereiche erfüllt. In der folgende Abbildung 8 werden die drei Grundsäulen der Nachhaltigkeit nochmals dargestellt.

[8] vgl. Kreutzer (2023), S. 1 f.

[9] vgl. Gellert u.a. (2012), S. 65.; vgl. Münger (2021), S. 22.

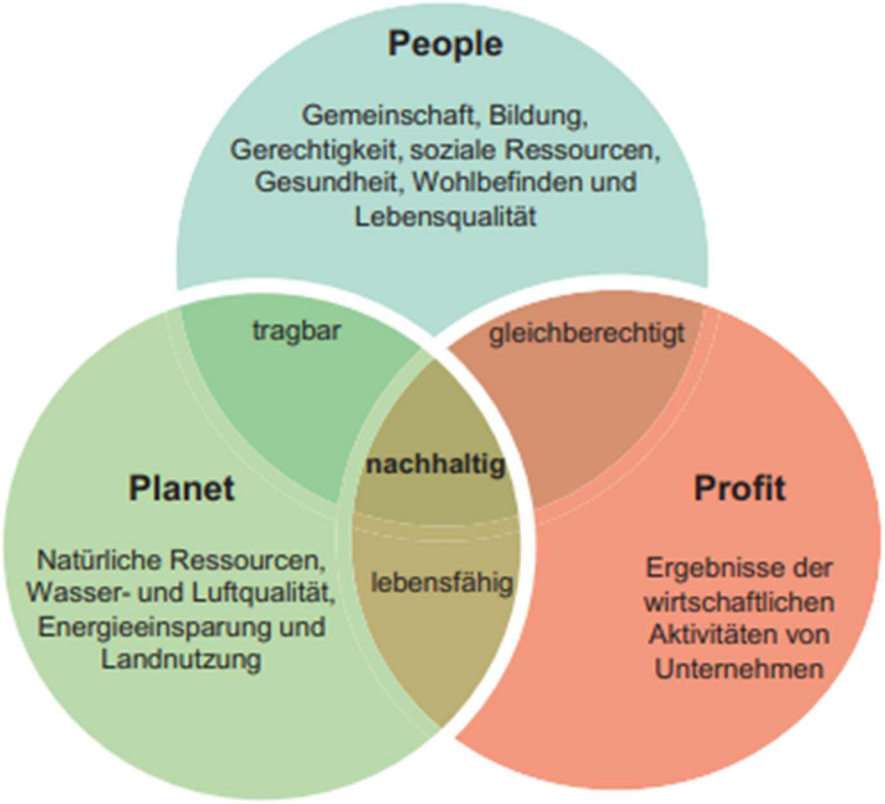


Abbildung 8: Aspekte der Nachhaltigkeit[10]

Nachhaltigkeit im Sinne der sozialen und menschlichen Sicht bedeutet, die Menschen und ihre Rechte jederzeit zu schützen und den Arbeitnehmern beispielsweise faire Arbeitsbedingungen in einem Unternehmen zu bieten. Dazu sind unteranderem zusätzliche Investitionen notwendig, um gewisse Standards aufrecht erhalten zu können.

Die ökonomische Nachhaltigkeit zielt dagegen auf die Wirtschaftlichkeit des Unternehmens selbst ab. Unternehmen müssen langfristig darauf ausgerichtet sein, Gewinn zu erwirtschaften, der die Existenz eines Unternehmens gewährleistet und Investitionen ermöglicht.

Der dritte Aspekt bezieht sich auf die ökologische Nachhaltigkeit. Dabei wird der Fokus auf die Auswirkungen und Folgen des unternehmerischen Handelns auf die Umwelt gelegt, mit dem Ziel, die Belastung auf die Umwelt zu reduzieren und minimalst zu gestalten. Besonders wichtig ist dabei, dass jeder Schritt der Wertschöpfungskette

[10] Kreutzer (2023), S. 5.

betrachtet wird und die benötigten Ressourcen bewusst und verantwortungsvoll eingesetzt werden.[11]

Um diese Aspekte gewährleisten zu können und Modelle wie beispielsweise die Kreislaufwirtschaft implementieren zu können, bedarf es zusätzlichen Technologien, die zu einer sinnvollen und nachhaltigen Produktgestaltung führen. Aus diesem Grund können die drei Grundsäulen der Nachhaltigkeit durch die Technologie erweitert werden, da dieser Aspekt in der heutigen Zeit eine immer wichtiger werdende Rolle in einem Unternehmen einnehmen. In folgender Abbildung 9 wird dies graphisch veranschaulicht.[12]



Abbildung 9: Erweiterte Nachhaltigkeit[13]

[11] vgl. Kreutzer (2023), S. 4.

[12] vgl. Münger (2021), S. 21.

[13] Münger (2021), S. 21.

3.2 Umdenken von der Linear- zur Kreislaufwirtschaft

Um dem übermäßigen Ressourcenverbrauch entgegenzuwirken, muss ein allgemeines Umdenken bei der Gestaltung des bevorzugten Wirtschaftsmodells angestrebt werden. Dies bedeutet, dass ein Wandel von der gängigen Struktur einer Linearwirtschaft hin zu einer Kreislaufwirtschaft stattfinden muss, um eine nachhaltige Produktion erreichen zu können. Um diesen Übergang besser verstehen zu können, werden im Folgenden die beiden Wirtschaftsmodelle genauer erläutert und gegenübergestellt.

Das lineare Produktionssystem entstand bereits im Zuge der industriellen Revolution, da zu dieser Zeit ein Überschuss an Ressourcen und Materialien für die Industrie verfügbar war. Aus diesem Grund war es in den meisten Branchen nicht relevant, auf den Verbrauch von Rohstoffen und Ressourcen zu achten. Es galt lediglich die Regel: Ist das Produkt einmal an den Kunden verkauft, spielt es keine Rolle mehr für das Unternehmen. Daher waren die Folgen für die Menschen und die Umwelt, die beispielsweise durch die Entsorgung entstanden, unbedeutend. Das einzige Ziel, dass verfolgt wurde war, möglichst viel zu den geringsten Kosten zu produzieren.[14]

Um dieses Ziel zu erreichen, war es am einfachsten, die Produkte und Ressourcen einmalig zu verwenden und sie anschließend zu entsorgen. Somit ergab sich in der Linearwirtschaft ein standardisierter Ablauf für den Lebenszyklus der Ressourcen (siehe Abb. 10): Diese werden zunächst abgebaut, anschließend in einem Unternehmen in ein Produkt umgewandelt, dem Kunden verkauft und nach der Nutzung entsorgt.[15]

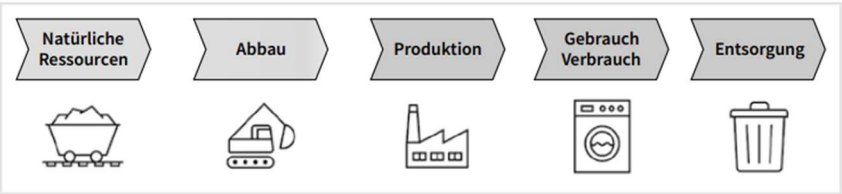


Abbildung 10: Linearwirtschaft[16]

[14] vgl. Münger (2021), S. 27 f.

[15] vgl. Kreutzer (2023), S. 5; vgl. Münger (2021), S. 27 f.

[16] Münger (2021), S. 27.

Dabei bedeutet Entsorgung, dass die Produkte nach ihrem einmaligen Gebrauch als Abfall weggeworfen, deponiert oder verbrannt werden. Man spricht daher auch von einer sogenannten Wegwerfwirtschaft. Dieser lineare Prozess wird für unterschiedlichste Produkte angewendet. Neben dem Verbrauch von Rohstoffen werden ebenfalls die Ressourcen Luft, Wasser, Landschaft, Energie, Arbeitskräfte usw. benötigt. In der folgenden Abbildung 11 wird der Ablauf der Linearwirtschaft nochmals genauer mit den dazugehörigen Komponenten dargestellt.[17]



Abbildung 11: Linearwirtschaft mit den dazugehörigen Varianten[18]

Aufgrund des rasanten Wachstums der Industrie und der auf Volumen ausgerichteten Produktionsweise stößt dieses System jedoch immer weiter an seine Grenzen. Die zu Verfügung stehenden Ressourcen reichen nicht mehr aus, um den Bedarf zu decken. Gleichzeitig nimmt die Belastung auf die Umwelt hierdurch immer weiter zu. Aus diesen Gründen sind sowohl die Industrie als auch die Konsumenten gezwungen, mit einer geringeren Menge an Rohstoffen, Produkten, etc. auszukommen und sich an die Knappheit anzupassen.[19]

Eine effektive Möglichkeit, um ressourcenschonender zu produzieren, besteht – wie bereits erwähnt – in der Einführung des Wirtschaftsmodells der Kreislaufwirtschaft. Bei der Kreislaufwirtschaft besteht das Ziel insbesondere darin, durch geschlossene Wertschöpfungskreisläufe und die Neukonzipierung von Produkten die Nutzung der Rohstoffe zu minimieren und die Abfallproduktion deutlich zu verringern. Im Kreislaufwirtschaftsgesetz wird es als Möglichkeit definiert, natürliche Ressourcen zu schonen und die Umwelt und Menschen zu schützen. Der Kreislauf kann hierbei durch

[17] vgl. Kreutzer (2023), S. 5.; vgl. Münger (2021), S. 27 f.

[18] Kreutzer (2023), S. 6.

[19] vgl. Münger (2021), S. 28.

verschiedene Möglichkeiten wie beispielsweise Wiederaufbereitung, Recycling oder Wiederverwendung der genutzten Materialien und Produkten in den Prozess implementiert werden.[20]

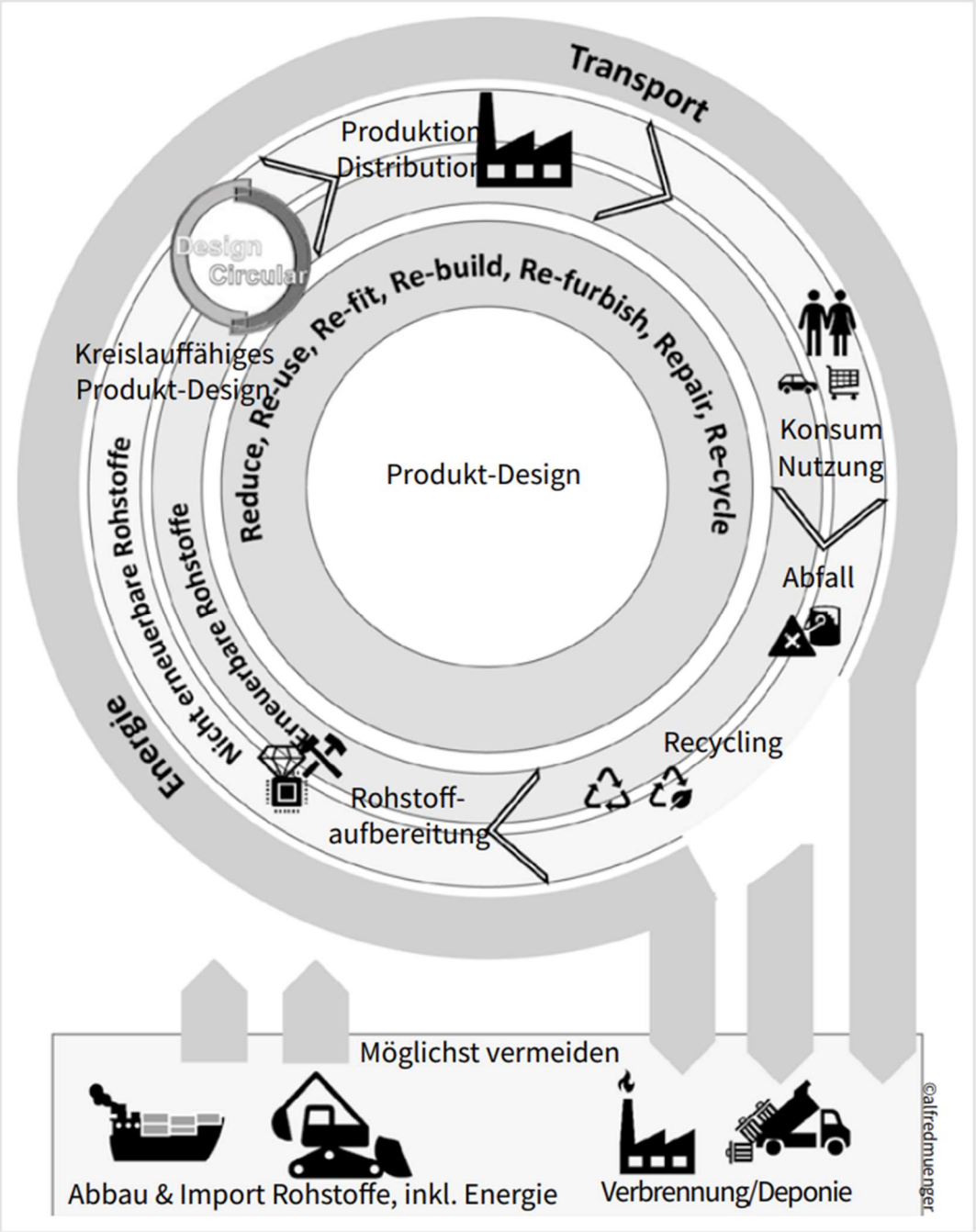


Abbildung 12: Kreislaufwirtschaft[21]

[20] vgl. Förtsch/Meinholz (2023), S. 69.; vgl. Gellert u.a. (2012), S. 65.

[21] Münger (2021), S. 29.

Wie in Abbildung 12 sichtbar wird, läuft der Lebenszyklus eines Produkts in der Kreislaufwirtschaft in den folgenden Schritten ab. Der Prozess beginnt bereits in der Planungs- und Konstruktionsphase. Jedes Produkt muss derartig designet und konstruiert werden, dass es die für die Kreislaufwirtschaft benötigten Anforderungen erfüllt. Dies bedeutet, dass eine mehrmalige Verwendung sowohl konstruktiv als auch materialtechnisch möglich ist. Wurde diese zirkuläre Produktgestaltung beachtet, kann mit der Fertigung des Produkts gestartet werden. Auch hierbei ist es wichtig, dass nicht nur die richtige Technologie angewendet wird, sondern die Kerngedanken systematisch auf Geschäftsmodellebene verstanden und angewandt werden. Nach der Fertigstellung des Produkts kann es anschließend in der gewohnten Art und Weise dem Kunden zur Nutzung bereitgestellt werden.[22]

Nach der Nutzung und der darauffolgenden Entsorgung des Produkts beginnt der Kerngedanke der Kreislaufwirtschaft. Anstatt das genutzte Produkt an dieser Stelle z.B. zu verbrennen oder zu deponieren, soll es zunächst recycelt und anschließend dem Wiederaufbereitungsprozess zugeführt werden. Dort wird der entsprechende Rohstoff aufbereitet und nach dem Erreichen der richtigen Qualität für einen erneuten Produktionsprozess bereitgestellt. Dieser Ablauf soll folglich so oft wiederholt werden, bis der Rohstoff die Anforderungen für das jeweilige Produkt nicht mehr erfüllen kann. Durch diese Langzeitnutzung der Produkte und die Schaffung geschlossener Materialkreisläufe kann der Ressourcenverbrauch und die damit verbundene Umweltbelastung deutlich reduziert werden und ein Schritt in die Richtung einer nachhaltigen Produktion gegangen werden.[23]

[22] vgl. Münger (2021), S. 28 f.; vgl. Kreutzer (2023), S. 5 f.

[23] vgl. Kreutzer (2023), S. 5 f.; vgl. Gellert u.a. (2012), S. 65 f.

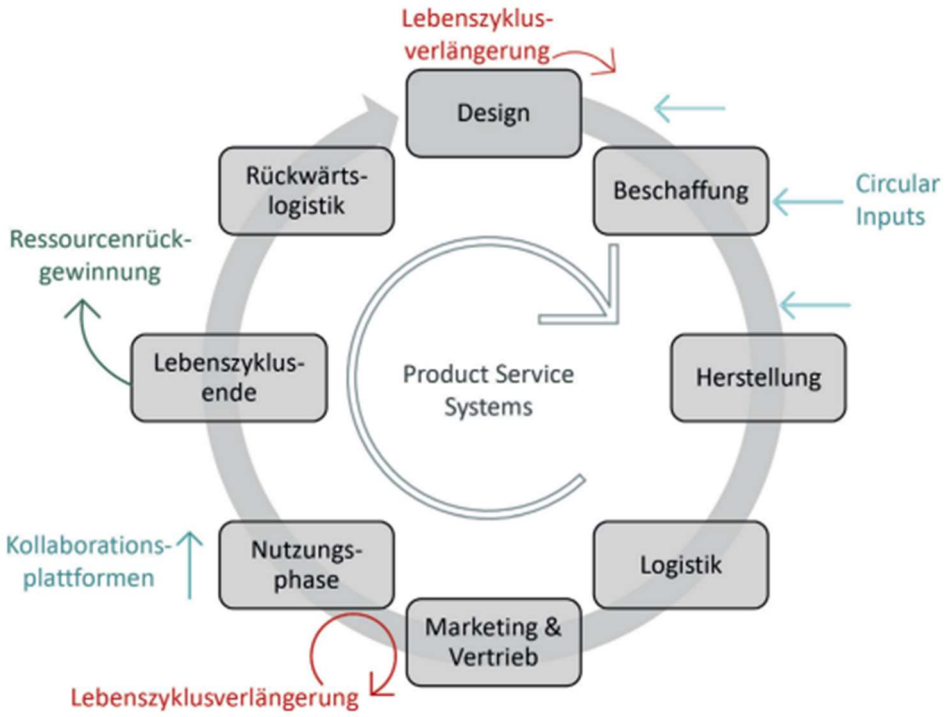


Abbildung 13: Erweiterte Kreislaufwirtschaft[24]

Um diese Kreislaufwirtschaft einführen und umsetzen zu können, gilt es, einige Methoden zu beachten. Diese sind in Abbildung 13 bereits in den Kreislauf integriert worden, um die Eingriffspunkte dieser sehen zu können.

Die ersten Maßnahmen werden als sogenannte *Circular Inputs* bezeichnet. Darunter versteht man, dass alle nicht erneuerbaren Materialien aus dem Prozess eliminiert und folglich ausschließlich nachhaltige bzw. kreislauffähige Materialien genutzt werden. Dies ist allerdings nicht immer möglich. Bei denjenigen Ressourcen, die unverzichtbar sind, jedoch nicht wiederaufbereitet werden können, sollte zu der Methode der Ressourcenrückgewinnung gegriffen werden. Dabei wird das Produkt in Einzelkomponenten zerlegt und zumindest Teile davon zur Wiederverwendung aufbereitet. Somit kann der Lebenszyklus zumindest teilweise verlängert werden. Wie bereits erwähnt, spielt auch die Methode der Lebenszyklusverlängerung eine entscheidende Rolle. Wichtig ist dabei, dass verlängernde Maßnahmen wie Reparatur, Wartung, Wiederaufbereitung oder Erneuerung nicht nur bei der Nutzungsphase berücksichtigt werden, sondern bereits zu Beginn bei der

[24] Gellert u. a. (2012), S. 66.

Designentwicklung des Produkts. Umso besser das Produktdesign auf eine Ressourcenrückgewinnung abgestimmt wird, desto leichter und einfacher kann dieser Schritt umgesetzt werden. Eine weitere Möglichkeit, um die Einführung der Kreislaufwirtschaft zu ermöglichen, sind sogenannte *Product Service Systems* oder *Kollaborationsplattformen.* Diese Systeme regeln, dass das Produkt teilweise oder vollständig im Besitz des Unternehmens bleibt und es selbst verantwortlich für Wartung, Reparatur und Wiederaufbereitung nach Nutzungsende ist. Leasingverträge, Mietvereinbarungen oder Rückgabe der Komponenten sind dabei gängige und beliebte Methoden. Auch hierdurch lässt sich die Lebenszeit des Produkts erhöhen und somit einen Beitrag zur Nachhaltigkeit leisten.[25]

3.3 Ziele der Kreislaufwirtschaft

Die Ziele der Kreislaufwirtschaft sind vielfältig. Ressourcen und Rohstoffe sollen mehrmals verwendet werden, um zu einer nachhaltigen Produktion beizutragen. Dieser Kerngedanke wird in den folgenden Abschnitten nochmals detaillierter erläutert, da das Verständnis für das Tätigen dieser Maßnahmen eine zentrale Rolle in der Einführung der Kreislaufwirtschaft einnimmt.

3.3.1 Design Circular

Design Circular beschreibt im Allgemeinen, dass die Gestaltung und Konstruktion der Verbrauchsgüter, der Materialien, der Produkte und der gesamten Geschäftsmodelle grundlegend neu entworfen werden muss. Es zielt darauf ab, die zur Verfügung stehenden Ressourcen fachgerecht in den Kreislauf der Wertschöpfungsprozesse zurückzuführen und neue nachhaltige Unternehmensstrukturen zu generieren, damit in möglichst vielen Branchen im Sinne der Kreislaufwirtschaft gehandelt werden kann.[26]

[25] vgl. Gellert u.a. (2012), S. 66.; vgl. Münger (2021), S. 30 f.

[26] vgl. Münger (2021), S. 34 ff.

Die Ziele der Kreislaufwirtschaft und dem damit verbundenen *Design Circular* sind daher folgende:

- Die Reduzierung und Vermeidung von Abfällen durch die Wiederaufbereitung und das Recyceln der genutzten sowie verbrauchten Gütern.
- Die Steigerung der Effizienz im Verbrauch von Ressourcen. Dies bedeutet, dass die benötigten Materialien möglichst lange im Nutzungskreislauf beibehalten werden sollen und folglich der Ressourcenverbrauch verringert wird.
- Den Schutz der Umwelt, indem die der Natur schadenden Tätigkeiten verringert oder sogar eliminiert werden.
- Die ökologische Transformation der Produkte bis hin zu einer nachhaltigen und umweltfreundlichen Gestaltung, die aufgrund ihrer hierdurch entstehenden positiven Eigenschaften marktführend werden sollen.
- Das Einführen von nachhaltigen Arbeitsplätzen, beispielsweise in der Branche Recycling, Instandhaltung oder Wiederverwendung.

Insbesondere die Unternehmen streben mit der Einführung einer Kreislaufwirtschaft noch zahlreiche weitere Ziele an, die wie folgt lauten:

- Die Reduzierung der Produktionskosten durch die Verwendung von geringeren Mengen an Rohstoffen aufgrund der Wiederverwendung.
- Positive Auswirkungen auf die Umwelt, die Menschen und das Unternehmen aufgrund der Einführung von nachhaltigen Wertschöpfungsprozessen.
- Die Minimierung des Risikos, aufgrund von Materialengpässen oder Ressourcenknappheiten die Produktion stoppen zu müssen.
- Die positive Abgrenzung von anderen Unternehmen aufgrund ihrer von der Kreislaufwirtschaft inspirierten Fertigungsstrukturen.
- Die Steigerung der Innovation im Unternehmen aufgrund neu eingesetzter Technologien.
- Den Energieverbrauch zu senken und sie zukünftig für die Produktion der Produkte und nicht für die Gewinnung der Rohstoffe zu nutzen.[27]

[27] vgl. Kreutzer (2023), S. 21 ff.vgl. Münger (2021), S. 34 ff.

3.3.2 7R der Kreislaufwirtschaft

Die Tätigkeiten, die jedes Unternehmen durchführen kann, um nachhaltiger zu werden und eine Kreislaufwirtschaft implementieren zu können, sind sehr vielfältig. Diese werden auch als die sogenannten *7R* bezeichnet und bilden die Grundlage einer jeden Verbesserung hin zu einer Kreislaufwirtschaft. Das Ziel besteht darin, diese *7R* immer zu berücksichtigen und sie überall anzuwenden, wo es die Bearbeitung und Produktion zulassen. Folglich werden die *7R* in Abbildung 14 aufgezeigt.[28]

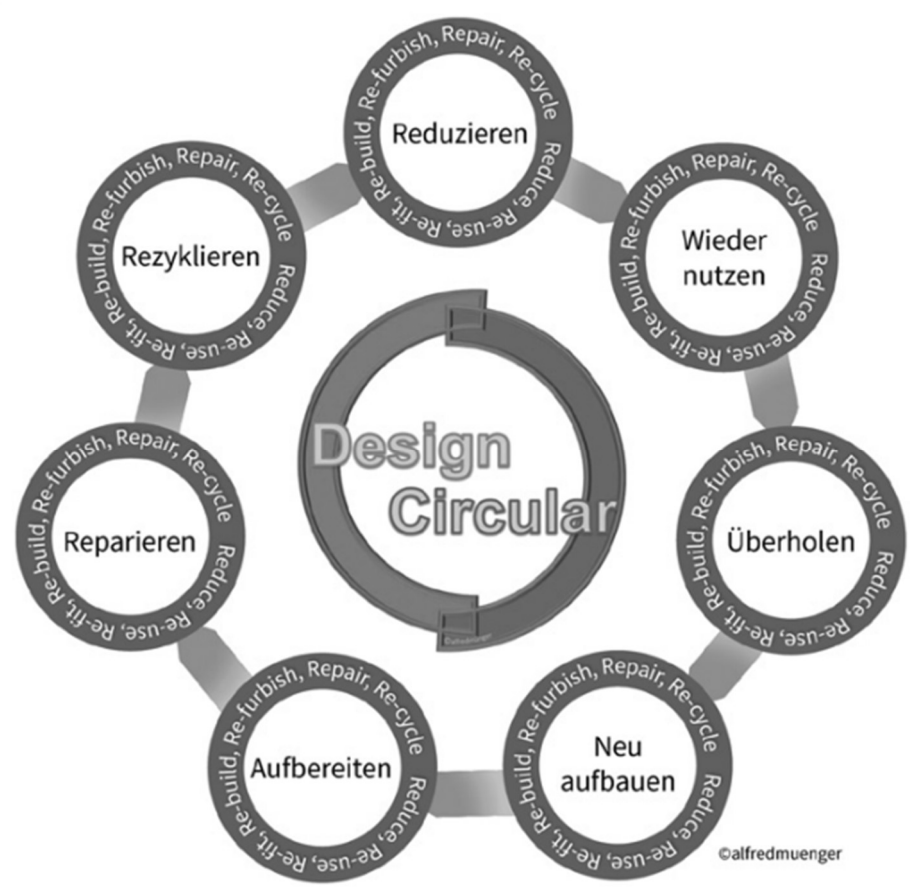


Abbildung 14: Die 7R der Kreislaufwirtschaft[29]

Folglich werden die Bergriffe nochmals kurz erläutert, da sie alle zu einer Einsparung von Ressourcen führen können:

[28] vgl. Münger (2021), S. 40.

[29] Münger (2021), S.41.

- *Reduce* bedeutet die Reduzierung von neu benötigten Ressourcen, sodass der Verbrauch dieser möglichst gering wird und damit eine minimale Menge an Abfällen entstehen.
- *Reuse* bedeutet das Wiederverwenden von Komponenten nach deren Nutzung. Diesen können dabei entweder als gesamtes Produkt erneut genutzt oder als Teilkomponenten anderen Produkten zugefügt werden. Eine Möglichkeit dafür ist unter anderem, die genutzten Produkte unter den Bezeichnungen *second-hand* oder *gebraucht* anzubieten.
- *Refit* bedeutet, dass ältere Komponenten und Produkte überholt werden sollen, wenn sie die Anforderungen nicht mehr erfüllen. Somit kann die Entsorgung dieser Produkte herausgezögert oder sogar vermieden werden.
- *Rebuild* bedeutet die Aufrüstung bzw. Erweiterung bereits bestehender Technologien oder Produkte. Bevor diese weggeworfen werden, sollte eine Überarbeitung stattfinden.
- *Refurbish* bedeutet die Wiederaufbereitung von Ressourcen und Produkten, die das eigentliche Ende ihres Lebenszyklus erreicht haben. Beispielsweise kann dies durch ein geeignetes Produktdesign begünstigt werden. Dabei wird nicht nur auf defekten Komponenten geachtet, sondern auch auf das Verbessern von veralteten Teilen.
- *Repair* bedeutet die Möglichkeit zu schaffen, einfache Reparaturen an Produkten vornehmen zu können. Dies wirkt sich auch positiv bei der regelmäßigen Wartung und Instandsetzung des Produkts aus. Auch hierbei kann ein entscheidender Beitrag bereits in der Designphase geleistet werden.
- *Recycle* bedeutet, dass die Produkte, die tatsächlich das Nutzungsende erreicht haben, richtig recycelt und nicht entsorgt werden. Anschließend können diese Komponenten für neue Produkte entweder mit höherer Qualität (*Upcycling*) oder mit niedrigerer Qualität (*Downcycling*) genutzt werden.

Wichtig ist dabei zu beachten, dass diese Maßnahmen in allen Bereichen angewendet werden können, um eine nachhaltigere Lebensweise zu erreichen.[30]

[30] vgl. Kreutzer (2023), S. 23 ff.; vgl. Münger (2021), S. 40 ff.

3.4 Aktuelle Daten zur Kreislaufwirtschaft

Um die Wichtigkeit des Ausbaus der Kreislaufwirtschaft sowie anderer nachhaltiger Prozesse nochmals eindeutig sichtbar zu machen, sollte ein Blick auf die aktuellen Statistiken geworfen werden. Ein eindeutiger Indikator dafür, dass ein Wirtschaftswandel stattfinden muss, ergibt sich bei der Betrachtung des weltweiten Abfallaufkommens.

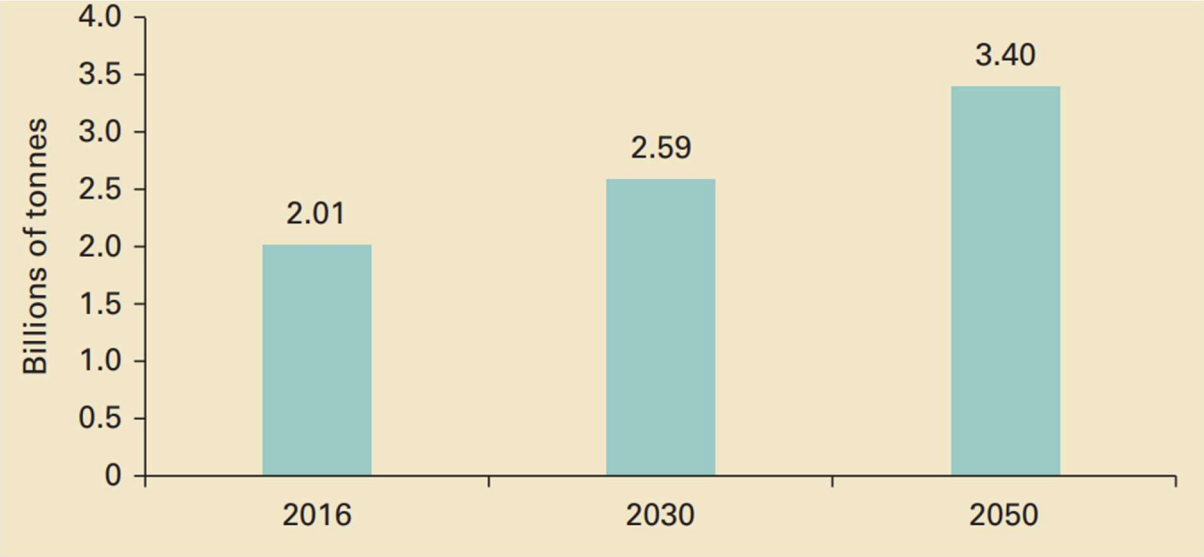


Abbildung 15: Weltweites Abfallaufkommen[31]

Abbildung 15 zeigt einen Vergleich der *World Bank Group* bezüglich des weltweiten Abfallaufkommens des Jahres 2016 mit einer Prognose zu den Jahren 2030 und 2050. Dass Diagramm zeigt, dass das Abfallaufkommen kontinuierlich ansteigt und ein Wert von 3,4 Milliarden Tonnen für das Jahr 2050 prognostiziert wird. Das wäre im Vergleich zum Jahr 2016 eine Steigerung um 69,2%, was ein deutliches Zeichen für das Entgegenwirken dieses Trends aufweist.

Schaut man sich die Regionen des produzierten Abfallaufkommen in der Abbildung 16 an, wird sichtbar, dass der asiatische Raum – besonders im Ost- und Pazifikraum – aufgrund ihrer hohen Wirtschaftskraft am meisten Abfall produziert. Gefolgt wird dies von Europa und Zentralasien. Umso wichtiger ist es, in diesen Regionen einen besonderen Wert auf Nachhaltigkeit zu legen. Zusätzlich wird sichtbar, dass in den

[31] vgl. Silpa Kaza u.a. (2018), S. 25.

Regionen Asien und Afrika ein besonders hoher Anstieg an Abfallaufkommen prognostiziert wird. Dies beruht auf verschiedensten Gründen, ist jedoch hauptsächlich auf ein mangelhaftes bzw. fehlendes Müllmanagement zurückzuführen.[32]

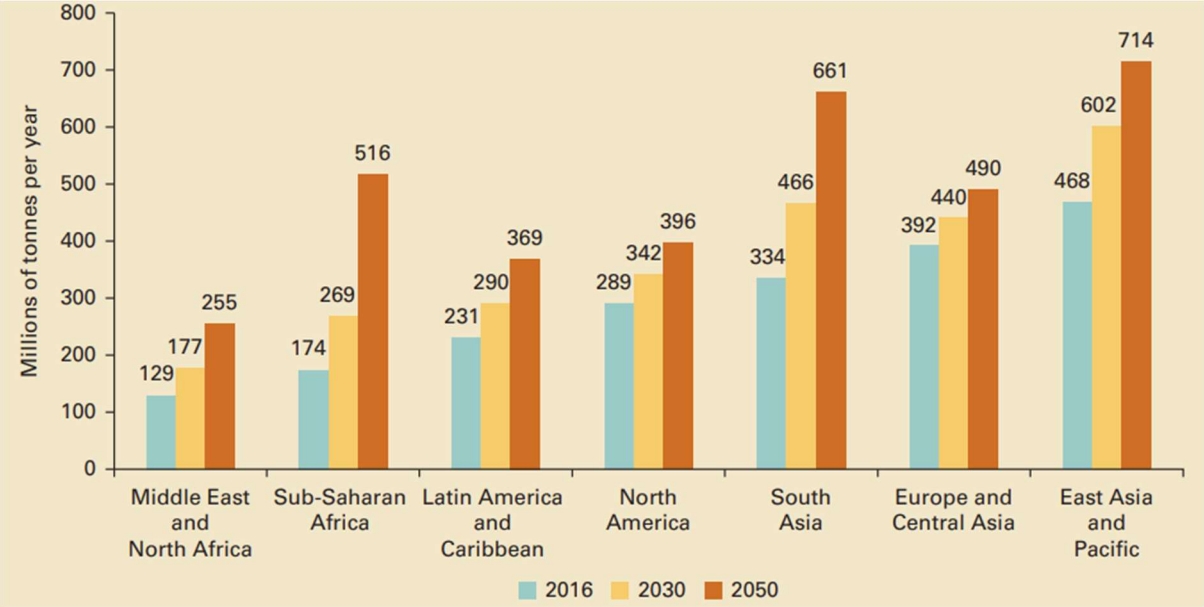


Abbildung 16: Abfallaufkommen nach Regionen[33]

Wie weit die Anwendung der Prinzipien der Kreislaufwirtschaft bereits fortgeschritten sind, kann man unter anderem auch an den folgenden beiden Abbildungen 17 und 18 von *Eurostat* zur Recyclingquote und zur Zahl der beschäftigten Arbeitnehmer im Sektor der Kreislaufwirtschaft in Europa erkennen.

Abbildung 17 zeigt, dass das Recyceln von Rohstoffen insbesondere im Bereich Bauabfälle und Bauschutt schon weit vorangeschritten ist. Im Jahr 2020 wurden bereits 89% dieser Abfälle recycelt. Schlechter hingegen sieht es bei anderen Abfallarten wie Verpackungen oder mineralischen Abfällen aus, da es dort lediglich 64 bzw. 53% sind. Die geringste Recyclingrate weist dagegen allerdings der Elektroschrott, die Kunststoffverpackungen und die Siedlungsabfälle auf. In diesen Bereichen wurden im Jahr 2020 nicht einmal die Hälfte der Abfälle recycelt, was ein deutliches Verbesserungspotential signalisiert.

[32] ESKP (2017), Internetquelle

[33] vgl. Silpa Kaza u.a. (2018), S. 28.

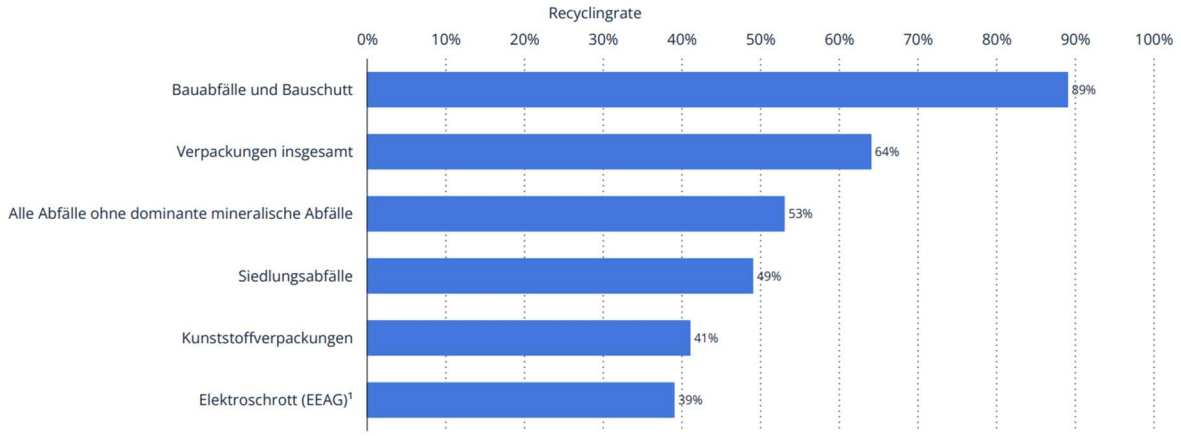


Abbildung 17: Recyclingquote der Abfallarten in der EU 2020[34]

Dass die Kreislaufwirtschaft und die damit einhergehende Nachhaltigkeit immer weiter an Bedeutung gewinnt, lässt sich ebenfalls an der Zahl der Erwerbstätigen im Sektor der Kreislaufwirtschaft in Europa sehen. Abbildung 18 zeigt die Entwicklung zwischen 2012 und 2021, die von dem statistischem Amt der Europäischen Union (Eurostat) ausgewertet wurde. Es wird sichtbar, dass die Zahl der Beschäftigen in der Kreislaufwirtschaft kontinuierlich ansteigt. Führend ist dabei Deutschland mit einer Anzahl von fast 800.000 Beschäftigten, gefolgt von Italien, Großbritannien, Frankreich, Spanien und Polen. In den restlichen Ländern spielt die Kreislaufwirtschaft bisher eine untergeordnete Rolle.

TIME	2012	2016	2020	2021
GEO (Beschriftungen)				
Belgien	63.376	61.463	63.816	63.868
Bulgarien	50.643	51.013	51.751	52.323
Tschechien	119.217	120.738	123.938	124.592
Dänemark	33.009	33.435	35.758	36.207
Deutschland	617.452	677.723	764.770	785.297
Estland	10.687	11.644	13.810	14.152
Irland	23.458	28.227	33.250	33.541

[34] Eurostat (2022), zitiert nach de.statista.com

Griechenland	60.948	66.723	61.139	59.634
Spanien	343.199	405.105	448.860	454.085
Frankreich	487.496	470.463	521.357	523.904
Kroatien	42.218	44.088	50.818	52.113
Italien	573.325	612.645	617.149	613.339
Zypern	5.582	6.840	8.348	8.827
Lettland	20.476	23.624	23.720	24.105
Litauen	30.335	35.211	38.335	39.115
Luxemburg	1.722	1.924	2.100	2.158
Ungarn	112.989	110.391	105.907	109.215
Malta	4.361	4.749	4.857	4.970
Niederlande	99.896	97.501	104.905	105.173
Österreich	47.954	48.376	49.423	49.173
Polen	387.443	422.007	437.080	441.671
Portugal	82.546	84.026	85.587	87.525
Rumänien	84.408	85.799	88.583	91.467
Slowenien	14.648	15.361	15.918	15.816
Slowakei	43.835	45.547	51.486	52.248
Finnland	43.654	41.816	41.951	41.744
Schweden	74.598	80.333	83.884	85.100
United Kingdom	506.863	572.923	581.750	590.936
Gesamt	3.986.338	4.259.695	4.510.250	4.562.298

Abbildung 18: Anzahl der Beschäftigten im Sektor Kreislaufwirtschaft in der EU[35]

[35] Eurostat (2022), Internetartikel

3.5 Aktuelle Forschungsprojekte zur Kreislaufwirtschaft

Da die Kreislaufwirtschaft ein sehr aktuelles Thema ist, soll dies kontinuierlich weiterentwickelt und durch neue Forschungsprojekte vorangebracht werden. Aus diesem Grund wurde das Forschungskonzept *Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe (ReziProK)* ins Leben gerufen, welches vom *Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)* im Rahmen der Forschungsstrategie *Forschung für Nachhaltigkeit (FONA)* gefördert wird. Es zielt darauf ab, Geschäftsmodelle für die Kreislaufwirtschaft zu entwickeln, um folglich einen nachhaltigen Umgang mit Ressourcen zu ermöglichen.[36]

Ein zentraler Aspekt der dazugehörigen 25 Forschungsprojekte ist die Kombination aus Mensch und Maschine. Ein Beispiel dafür ist das Projekt *EIBA* (siehe Abb. 19). Das Ziel dieses Projekts bestand darin, die Identifikation der Art und des Zustands eines Produkts nach dem Ende der Nutzungsphase zu verbessern, um damit die Entscheidung zwischen Recycling und Wiederaufbereitung zu treffen.[37]



Abbildung 19: Forschungsprojekt EIBA[38]

Dabei soll den auswertenden Fachleuten eine Maschine zur Verfügung gestellt werden, die bei dieser Entscheidung mitbeurteilen kann und eine genauer Bewertung ermöglicht. Dies wird möglich, indem Sensoren Daten über Kameras usw. erfassen, die anschließend mithilfe von KI als Entscheidungsempfehlung ausgegeben werden. Somit liegt eine Bewertung des Menschen und der Maschine vor, was zu einer geringeren Fehlerquote und einer Entlastung des Menschen führt. Genutzte

[36] vgl. Dechema, S. 5.

[37] vgl. Dechema, S. 53 f.

[38] Fraunhoffer IPK, Internetartikel

technische Komponenten sind dafür insbesondere Bildverarbeitungssysteme, die mithilfe der KI einen automatisierten Abgleich basierend auf den wichtigsten Produkteigenschaften durchführen. In Abbildung 20 wird der Aufbau eines solchen Arbeitsplatzes nochmals deutlich sichtbar. Die Beurteilung wird dabei mithilfe von Kameras erstellt.[39]

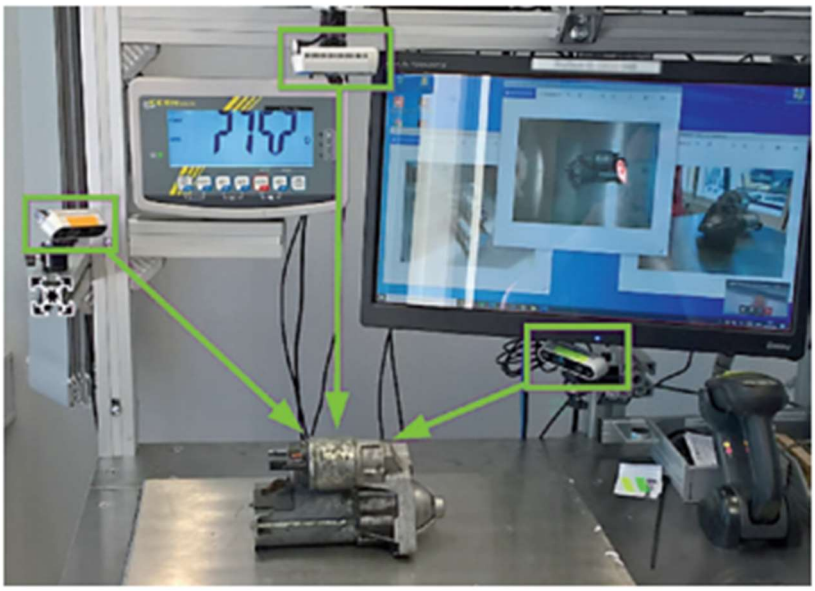


Abbildung 20: Kameras zur Bewertung des Produktzustandes[40]

[39] vgl. Dechema, S. 53 f.

[40] vgl. Dechema, S. 53.

4 Prozess vor Projektstart

Um einen umfassenden Einblick in den früheren Montageprozess zu gewähren, wird in diesem Abschnitt detailliert jede Phase des Prozesses beschrieben, der die Einzelteile durch verschiedene Bearbeitungsstationen führt, bis ein vollständiges Endprodukt entsteht. Der Ablauf beginnt mit der Bereitstellung der Einzelteile und endet mit dem fertigen Produkt. Dabei werden die einzelnen Schritte systematisch dargestellt.

Die Fortbewegung der Bauteile erfolgt über ein Bandumlaufsystem. Der rechteckige Aufbau des Produktionssystems sorgt dabei für einen kontinuierlichen Durchlauf der Bauteile. An den jeweiligen Endpunkten des Bandsystems sorgen pneumatisch angetriebene Wendestationen (siehe Abbildung 22) für einen reibungslosen Wechsel der Werkstückträger. Die Werkstückträger, die für den Transport der Bauteile genutzt werden, sind mit einer Grundplatte ausgestattet, die den Kontakt mit dem Bandumlaufsystem herstellt (siehe Abbildung 21). Die Werkstückträger sind dabei die eigentliche Fassung der Bauteile und sorgen damit für einen sicheren Transport entlang des Systems. Die Geometrie der Werkstückträger ist auf die Montagebauteile angepasst, um diesen sicheren Transport über das gesamte Bandsystem zu gewährleisten.

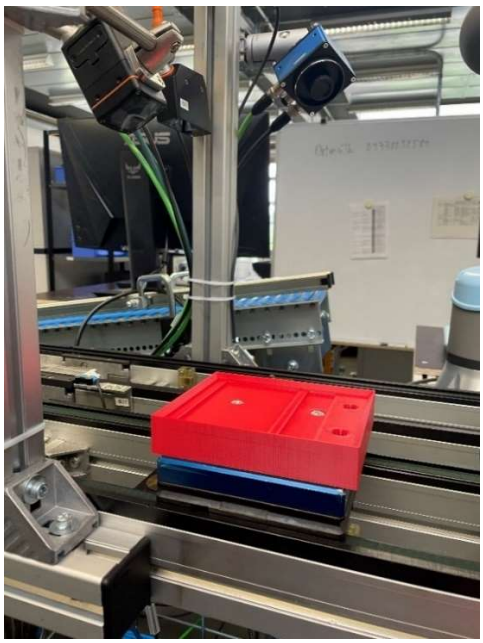


Abbildung 21: Werkstückträger

Die Abläufe, Verbindungen sowie Verknüpfungen der gesamten Anlage werden über eine SPS gesteuert, damit ein harmonischer Ablauf des Bandsystems sowie der einzelnen Arbeitsstationen gewährleistet wird. Da das Gesamtsystem aus mehreren einzelnen Stationen besteht, verfügt jede einzelne Station über pneumatische Stopper, die die Werkstückträger an der passenden Station stoppen, um den jeweiligen Arbeitsschritt durchzuführen. Zusätzlich ist das Bandsystem mit Lichtsensoren ausgestattet, die überprüfen, ob sich ein Werkstückträger an einer Arbeitsstation befindet.

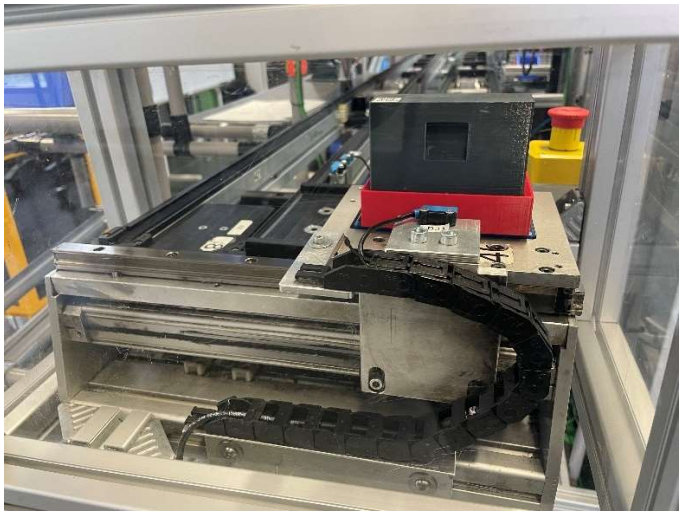


Abbildung 22: Wendestation

Als erster Arbeitsschritt sorgt ein UR5E-Roboter für die Materialversorgung. Dabei werden zunächst die Werkstückträger und anschließend eines der Montagebauteile auf das Bandsystem aufgelegt. Die Bauteile sowie auch die Werkstückträger sind in einem fest installierten Materiallager untergebracht, dass in der Reichweite des Roboterarms liegt (siehe Abb. 23). Nachdem der Beladevorgang abgeschlossen ist, sorgt die zentrale Steuerung für die Freigabe des Stoppers. Der Werkstückträger kann somit zur nächsten Station weitertransportiert werden. Durch die Abfrage des Sensors für die Werkstückträger am Bandsystem können kontinuierlich weitere Werkstückträger und Montageteile vom Materiallager aufgelegt werden, sobald der Werkstückträger die nächste Station erreicht hat.

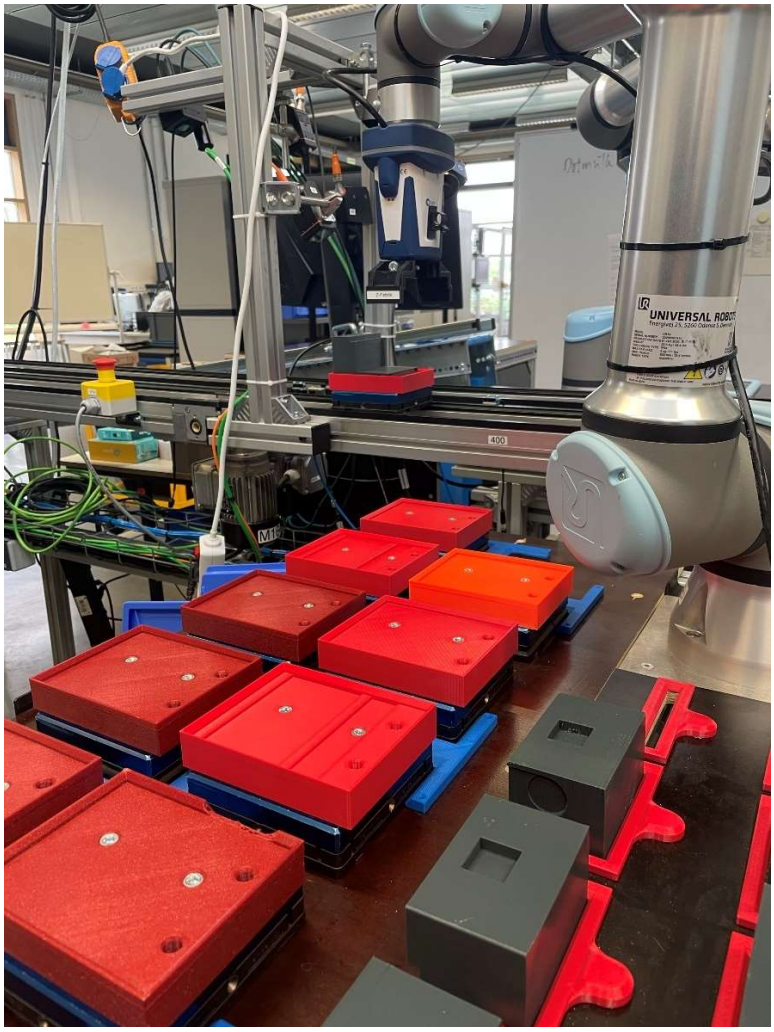


Abbildung 23: Werkstückübergabe

Der Beladevorgang ist im aktuellen Prozess begrenzt. Zum einen wird eine definierte Anzahl von Werkstückträgern auf das Bandsystem geladen, zum anderen ist nur eine begrenzte Anzahl von Montagebauteilen im Bauteillager vorhanden, weshalb dieser Vorgang nicht unendlich möglich ist.

Im zweiten Bearbeitungsschritt – der Bin-Picking Station (siehe Abb. 24) – werden dem Werkstückträger zusätzliche Bauteilmaterialen zugeführt. Die Beladung der Werkstückträger übernimmt ein Ur3e Roboter. Dabei werden Bolzen, die als Schüttgut vorliegen durch eine automatisiertes Bin-Picking System aufgenommen und in den Werkstückträger eingesetzt. Die Lage des Schüttguts wird durch eine spezielle Kamera erfasst und durch ein komplexes Programm ausgewertet. Die erfassten Daten können an den Roboterarm übertragen werden, damit dieser das ausgewählte Bauteil

greift und in den Werkstückträger einsetzt. Das Greifen der Bauteile wird durch ein Schunk Greifsystem unterstützt. Dieser Vorgang wird im Montageprozess zweimal durchgeführt, da für die aktuelle Variante genau zwei dieser Bolzen benötigt werden.



Abbildung 24: Bin-Picking

Nachdem die Werkstückträger die erste Bandseite und die damit verbunden Arbeitsstationen durchlaufen haben, können diese mithilfe der pneumatischen Wendestation an die parallel verlaufende Bandseite abgegeben werden. Dort folgt die Station Handarbeitsplatz, in der die Montagebauteile zusammengeführt werden. Bei der Montage können die Einzelteile vom angelieferten Werkstückträger entnommen werden. Dabei wird durch eine Kamera die Bewegung des Werkers signalisiert und der Montageprozess gestartet. Die zusätzlich benötigten Komponenten werden aus den angebrachten Boxen entnommen. Sind alle Einzelteile vollständig vorhanden, kann der Werker mit einer Digitalen Montageanleitung die Baugruppe Schritt für Schritt zusammenfügen. Dabei werden die Handbewegungen des Werkers mit einer Kamera

erfasst und mit der digitalen Montageanleitung verglichen. Das Werkerassistenzsystem unterstützt dabei den Montagevorgang, um die Arbeitsschritte korrekt durchzuführen. Anschließend wird die montierte Baugruppe (siehe Abb. 25) zurück auf den freistehenden Werkstückträger platziert. Mit der Bestätigung des Werkers durch einen Taster löst der dazugehörige Stopper des Handarbeitsplatzes aus und der Werkstückträger kann zur nächsten Station transportiert werden.

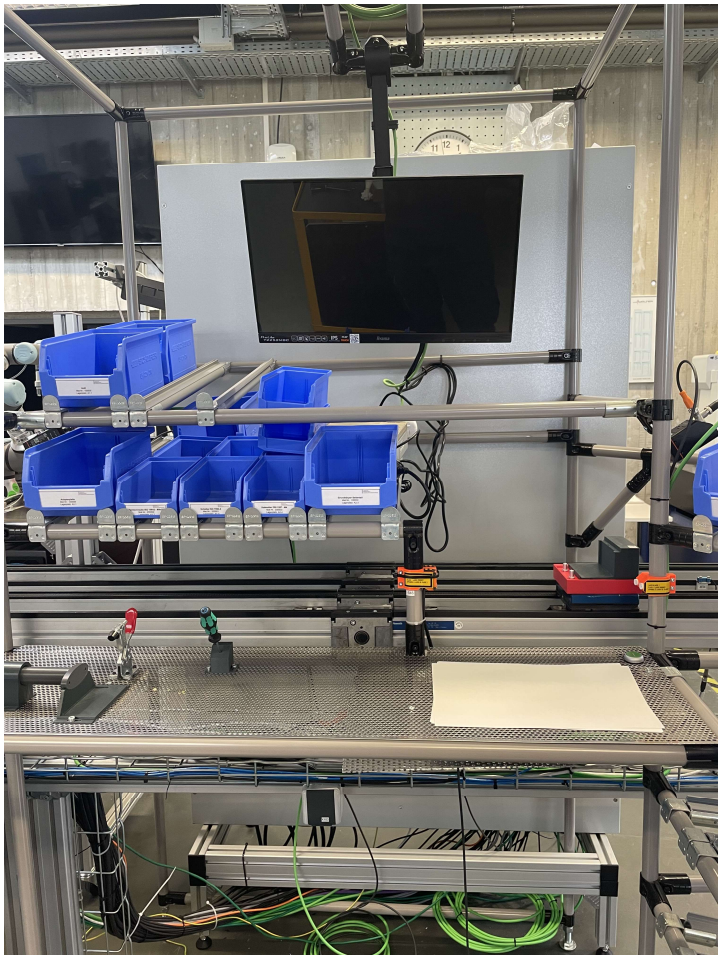


Abbildung 25: Montage Handarbeitsplatz

In der Vorletzten Station werden die Baugruppen auf ihre Qualität kontrolliert. Dabei kommt ein EOL-Test zum Einsatz, der mithilfe einer Kamera die fertig montierten Baugruppen durchleuchtet und nach ihrer ordnungsgemäßen Montage prüft.

Am Ende des Bandsystems werden die fertig montierten Baugruppen vom Werkstückträger entnommen. Die Entnahme der Baugruppen geschieht wiederum

durch die erste Arbeitsstation. Der Ur5e Roboter entnimmt die Bauteile des Werkstückträgers und übergibt sie dem Transportroboter „Husky“ (siehe Abb. 26). Die Ladefläche des Transportroboters ist mit denselben Werkstückträger ausgestattet, um die Baugruppen sicher zu transportieren. Der Transportweg erfolgt vom PTZ zum RITZ sowie vom RITZ zum PTZ. Mit der Entnahme und Übergabe der Bauteile ist der Montageprozess abgeschlossen. Mit der zweiten Wendestation am Übergabeplatz, werden die leeren Werkstückträger an den Start der Produktionskette übergeben. Der Montageprozess kann damit erneut ausgeführt werden und erneut mit dem ersten Schritt starten.

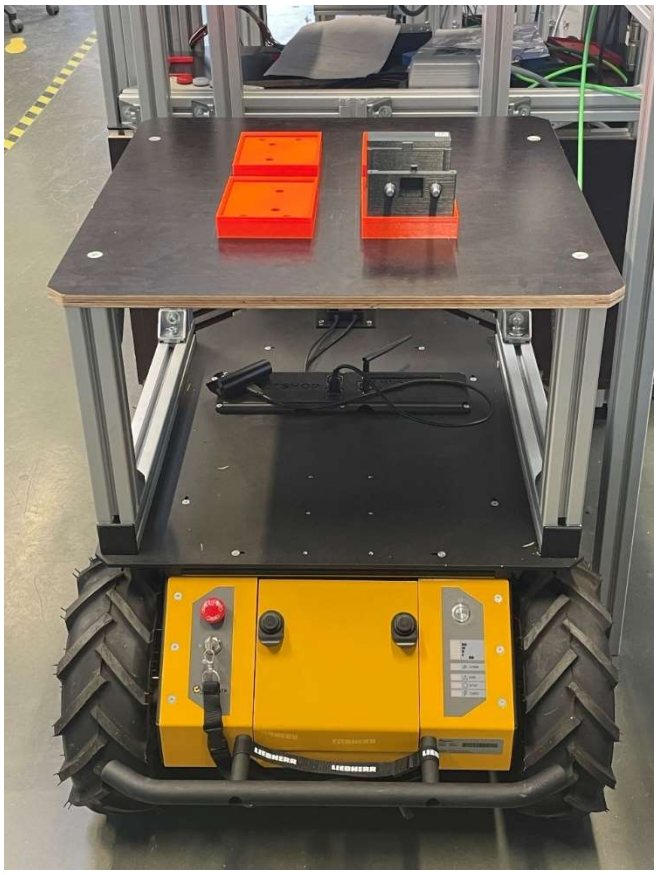


Abbildung 26: Husky beladen

5 Konzeption des Demontageprozesses

Mit der Einführung eines weiteren Prozesses – dem Demontageprozess – sind viele Maßnahmen sowie Änderungen am bestehenden Prozess notwendig. Dafür muss zunächst ein grundlegendes Konzept zur Umsetzung erarbeitet werden. Aus diesem Grund soll eine Übersicht zusammengetragen werden, die die unterschiedlichen Änderungen und Anpassungen am bestehenden Prozess aufzeigt. Das Ziel besteht in der Ausarbeitung eines Konzepts, welches die jeweiligen Anforderungen an den Demontageprozess erfüllt sowie die vollständige Integration in den bestehenden Prozess ermöglicht. Dabei sollen die Veränderungen sowie die Erweiterungen des Systems erläutert und die Anforderungen an die Einzelstationen dargelegt werden.

Als Grundlage für die Konzeption des Demontageprozesse wurden die Vorgängerarbeiten, Vorschläge der PTZ-Mitarbeiter sowie das eigene Knowhow eingebracht, um eine Grundlage zu schaffen, die für die Umsetzung und Einführung des Demontageprozesses hilfreich ist. In einem Brainstorming wurden die einzelnen Aufgaben sowie die zu erledigenden Tätigkeiten in einer Mind-Map zusammengeführt, um einen Überblick für die notwendigen Änderungen des Demontageprozesses zu schaffen (siehe Abb. 27).

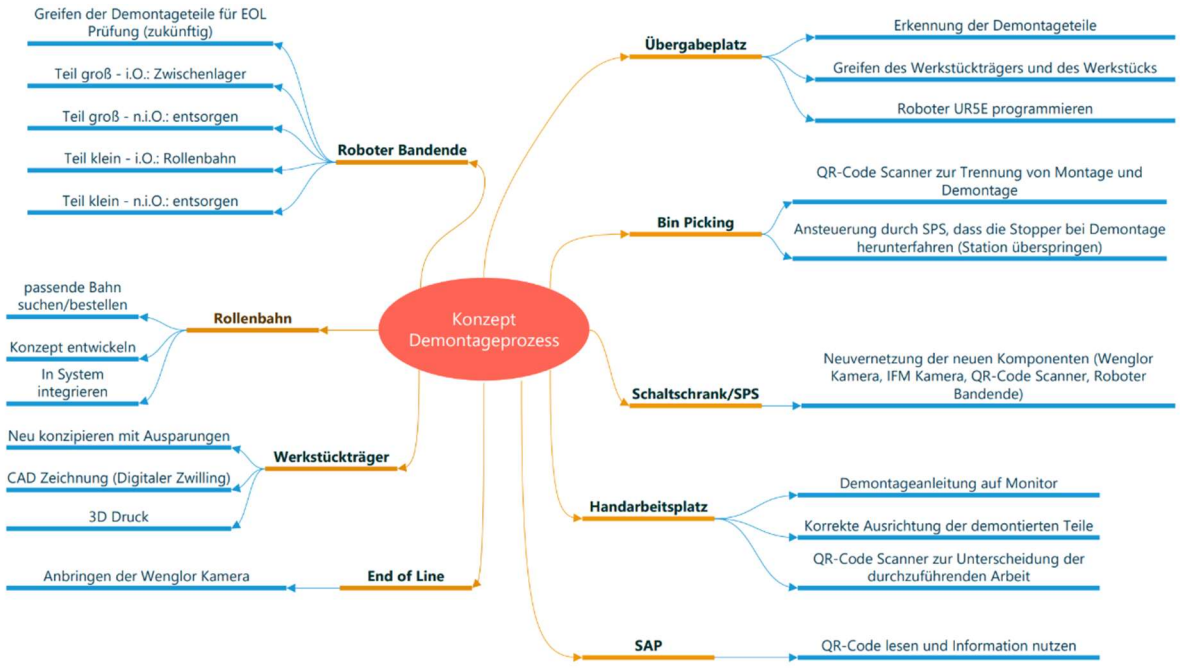


Abbildung: 27 Mind-Map

Die Kategorien (orange unterstrichen) sind nach den einzelnen Prozessstationen des Transfersystems benannt, um beim Konzept des Demontageprozesses einen klaren Überblick über die eingebundenen Stationen und Schnittstellen zu schaffen. Wichtig ist dabei zu erwähnen, dass nicht alle Arbeitspakete (blau unterstrichen) dem Demotageprozess zugeordnet werden, sondern teilweise oder vollständig mit anderen Schnittstellen verlaufen.

Mit der Mind-Map werden die Hauptaufgaben des Demontageprozesses zunächst herauskristallisiert und anschließend den jeweiligen Arbeitsstationen zugeordnet. Hieraus ergeben sich die entsprechenden Anforderungen an das Gesamtsystem, die auf dieser Grundlage zusammengetragen werden können. Das Ziel besteht darin, definierte Arbeitspakete zu schaffen, die für die Planung und Umsetzung notwendig sind. In folgender Abbildung 28 ist eine Übersicht des Bandsystems mit den zukünftig geplanten Änderungen (gelb) am Produktionssystem aufgetragen, um eine Übersicht zu schaffen, welche zusätzlichen Komponenten für den Demontageprozess angebracht werden müssen.

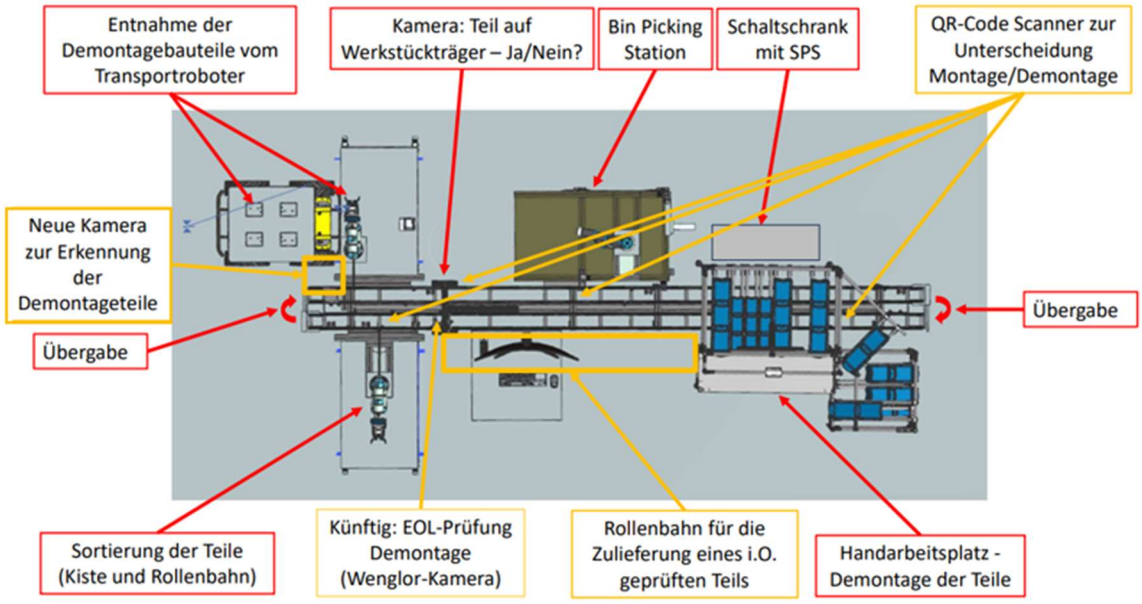


Abbildung 28: Demontage Konzept

Die wesentlichsten Handlungsschritte zur Umgestaltung des Bandsystems und der damit einhergehenden Einführung des Demontageprozesses sind folgende:

- Die Anbringung von QR-Code Scanner für eine Trennung der Prozesse Montage und Demontage.
- Die Installation einer Rollenbahn, um die geprüften Teile erneut dem Handarbeitsplatz zuzuführen.
- Das Anbringen von Halterungen und Kabelverbindungen.
- Die Inbetriebnahme des EOL-Roboters UR5E.
- Die EOL-Prüfung durch eine Wenglor-Kamera zur Bewertung von Gut- und Schlechtteilen.
- Die Vernetzung der einzelnen Arbeitsstationen.

Damit das Konzept und die Ideen für den Demontageprozess erfolgreich umgesetzt werden können, sind die einzelnen Aufgaben in einem Critical to Quality (CTQ) aufgetragen (siehe Abb. 29). Die CTQs sind spezifische messbare Merkmale, woraus die Anforderungen für den Demontageprozess abgeleitet werden. Sie sollen dabei helfen, die wichtigsten Aspekte für den Prozess sicherzustellen.

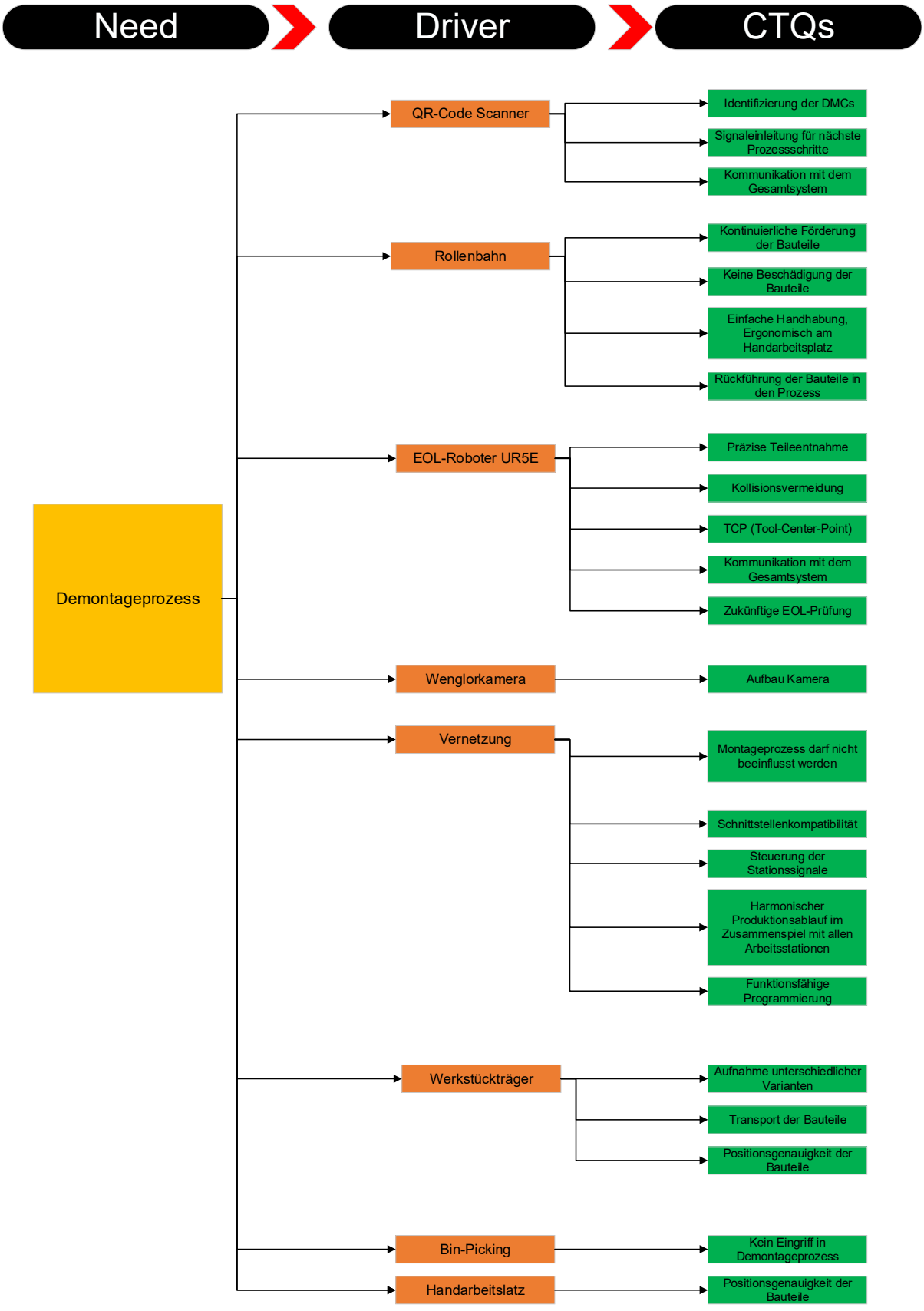


Abbildung 29: CTQ

Die abgeleiteten Anforderungen aus dem CTQ sehen wie folgt aus: Der grundlegende Ablauf entspricht weitestgehend dem aktuellen Prozess, wobei der Beladungsprozess größtenteils unverändert bleibt. Für den Transport der Bauteile dienen weiterhin dieselben Werkstückträger, die jedoch konstruktiv angepasst werden, um alle Bauteilformen befördern zu können. Die verschiedenen Arbeitsstationen können über das Scannen am Werkstück angebrachten QR-Codes die jeweiligen Arbeitsabläufe abrufen und somit automatisch zwischen Montage und Demontage unterscheiden. Dafür ist die Anbringung von vier QR-Code-Scannern am Bandsystem notwendig, damit eine Trennung der verschiedenen Prozesse gewährleistet werden kann. Jede Arbeitsstation ist in der Lage, unabhängig von anderen Arbeitsstationen den jeweils erforderlichen Prozess durchzuführen. Die QR-Codes ermöglichen zusätzlich die Übermittlung von Informationen an ein Manufacturing Execution System (MES), das den jeweils benötigten Arbeitsvorgang steuert.

Am Handarbeitsplatz werden die Demontageteile demontiert und die Montageteile gemäß den Anweisungen des jeweiligen Arbeitsvorgangs montiert. Zukünftig wird eine Wenglor-Kamera die Qualitätskontrolle der Bauteile übernehmen. Bei Abweichungen oder fehlerhaften Teilen wird ein UR5E-Roboter diese Bauteile aussortieren. Über die Rollenbahn können gut geprüfte Bauteile wieder in den Kreislauf zurückgeführt werden und stehen dem Werker erneut zur Verfügung.

Für die Gewährleistung der Funktionsfähigkeit des Produktionssystem ist es wichtig eine systematische Zusammenstellung der Anforderungen für jedes definierte Arbeitspaket vorzunehmen. Die Definition dieser Anforderung aus dem CTQ ist von wichtiger Bedeutung, da sie die Basis für die Konzeption, Implementierung und letztendlich den erfolgreichen Betrieb des Produktionssystems bildet. Die strukturierte Erfassung dieser Anforderungen ermöglicht es, potenzielle Risiken und Probleme frühzeitig zu erkennen und geeignete Lösungsstrategien anzuwenden. Im Folgenden werden diese Anforderungen genauer betrachtet:

Die Anbringung von QR-Code Scannern zur Trennung der Prozesse Montage und Demontage. Dieser Ansatz zielt darauf ab, nicht nur die Genauigkeit der Prozesszuordnung zu verbessern, sondern auch die Zeiteffizienz und Rückverfolgbarkeit zu erhöhen. Die Anforderungen an diese Schnittstelle umfassen

technische, organisatorische und sicherheitstechnische Aspekte, die im Folgenden detailliert erörtert werden.

Technische Spezifikationen

- **Robustheit:** Die Geräte sollten in einer industriellen Umgebung mit hohen Belastungen durch Vibration und möglichen Stößen zuverlässig funktionieren.
- **Hohe Scangenauigkeit:** Die Scanner müssen in der Lage sein, QR-Codes aus verschiedenen Winkeln und Entfernungen zuverlässig funktionieren.
- **Schnittstellenkompatibilität:** Die Scanner müssen mit dem bestehenden IT-System, Schaltschrank und SPS kompatibel sein und eine möglichst einfache Integration ermöglichen.

Prozessintegration

- **Eindeutige Identifizierung:** Jeder QR-Code muss eindeutig einem Prozessschritt (Montage oder Demontage) zugeordnet sein, um Verwechslungen zu vermeiden und eine klare Trennung der Prozesse zu gewährleisten.
- **Automatische Prozesssteuerung:** Die Erfassung des QR-Codes sollte automatisch den entsprechenden Prozess im System anstoßen.
- **Rückverfolgbarkeit:** Daten sollten gespeichert werden, um eine Historie des Bauteils im Hinblick auf Montage und Demontage zu ermöglichen.
- **Die Integration und Interaktion** mit einem übergeordneten Manufacturing Execution System (MES) ist entscheidend für eine effiziente Prozesssteuerung.

Eine Schlüsselkomponente zur Einführung des Demontageprozess ist die Rollenbahn, die eine schnelle und zuverlässige Bewegung von Materialien zwischen den verschiedenen Stationen ermöglicht. Insbesondere die Rückführung von geprüften Teilen zum Handarbeitsplatz stellt eine wichtige Schnittstelle dar, die das Ziel einer Kreislaufwirtschaft im Produktionssystem vorantreibt.

Technische Spezifikationen

- **Anpassungsfähigkeit:** Die Rollenbahn sollte flexibel an unterschiedliche Teilgrößen und -formen angepasst werden können, um die verschiedenen Variationen in Zukunft transportieren zu können.
- **Schnittstellenintegration:** Die Rollenbahn muss nahtlos in das bestehende Produktionssystem integrierbar sein.

Prozessintegration

- **Teilautomatisierung:** Die Integration der Rollenbahn sollte eine automatische Rückführung der geprüften Teile zum Handarbeitsplatz ermöglichen, um manuelle Transportvorgänge zu minimieren.
- **Fehlerminimierung:** Die Rollenbahn muss die zu transportierenden Teilkomponenten ohne Beschädigungen an den Handarbeitsplatz liefern.
- **Effizienzsteigerung:** Durch den automatischen Rückführprozess, könnte der Durchsatz maximiert werden.

Sicherheits- und Ergonomieanforderungen

- **Sicherheit:** Die Rollenbahn sollte derart konzipiert sein, sodass Verletzungen an den Werkern verhindert werden.
- **Ergonomische Gestaltung:** Die Abführungspunkte müssen ergonomisch gestaltet sein, um eine einfache Handhabung der Teile durch die Werker zu gewährleisten.

Die Schnittstelle, die die letzte Phase der Fertigung repräsentiert, erfordert eine sorgfältige Inbetriebnahme des UR5E, um einen reibungslosen Übergabeprozess von der EOL-Station bis hin zur Abgabe an die Rollenbahn zu gewährleisten.

Technische Spezifikationen

- **Programmierbarkeit:** Die Software des Roboters muss eine intuitive Programmierung ermöglichen, um auf Anpassung beim Ablauf des Demontageprozess reagieren zu können.
- **Erweiterbarkeit:** Der UR5E sollte die Möglichkeit besitzen, Greifer oder weitere Komponenten aufzunehmen.

Prozessintegration

- Der UR5E muss in der Lage sein, Daten mit anderen Anlagen und Systemen auszutauschen, um einen synchronisierten Arbeitsablauf zu gewährleisten.
- Der Roboter muss in den Prozess der Qualitätskontrolle eingebunden werden, um geprüfte Teile automatisch zu sortieren oder entsprechend den Qualitätskriterien zu behandeln.

Sicherheits- und Ergonomieanforderungen

- **Sicherheitsvorkehrungen:** Der Roboter muss auf Sicherheitszonen programmiert werden, um mögliche Kollisionen zu vermeiden.

Die Integration der Wenglor-Kamera zur EOL-Prüfung soll zukünftig Bauteile auf ihre Qualität überprüfen und diese aufgrund bestimmter Merkmale sortieren. Mit der Einführung der Qualitätskontrolle wird die Kamera zu einem integralen Bestandteil des Produktionsprozesses, der die Produktqualität sichert und die Effizienz steigert.

Technische Spezifikationen

- Die Wenglor-Kamera wird in den End-of-Line Prozess integriert, um automatisch eine Bildaufnahme und -verarbeitung durchzuführen.
- Die dazugehörige Software sollte in der Lage sein, Merkmale von Bauteilen zu erkennen und zu analysieren, um eine genaue Bewertung von gut und schlecht zu ermöglichen.

Prozessintegration

- Die Integration mit dem Produktionssystem ermöglicht eine automatische Steuerung des Produktionsprozesses basierend auf den Prüfergebnissen.

5.1 Trennung der Prozesse

Um einen sicheren Ablauf der Prozesse zu gewährleisten, ist es erforderlich, den Montage- und Demontageprozess voneinander zu trennen, damit jede Arbeitsstation die richtige Tätigkeit für die richtige Baugruppe ausführt. In einem späteren Stadium sollen verschiedene Varianten auf dem Transfersystem transportiert werden können (bis zu vier Varianten). Jede Variante benötigt dabei ihren eigenen Ablauf durch die verschiedenen Arbeitsstationen, da aufgrund der Varianz Arbeitsschritte entfallen oder hinzukommen können. Der derzeitige Stand berücksichtigt lediglich die Montage- und Demontagebaugruppen.

Die Montagebaugruppe kann durch jede Arbeitsstation durchlaufen werden, da die Produktionskette vorerst ausschließlich auf Montagebaugruppen ausgerichtet wurde. Im Fall der Demontagebaugruppen können bestimmte Stationen, wie zum Beispiel die Bin Picking-Station, übersprungen werden, da sie in diesem Kontext nicht erforderlich sind.

Um diesen Sachverhalt zu verdeutlichen, wird ein Funktionsablaufplan (siehe Abb. 30) erstellt, der zeigt, wie die beiden Varianten durch die Produktionskette geführt werden. Im Funktionsplan ist jede Aktion aufgezeigt, die für die jeweilige Variante benötigt wird, um den jeweiligen Prozess fertigzustellen.

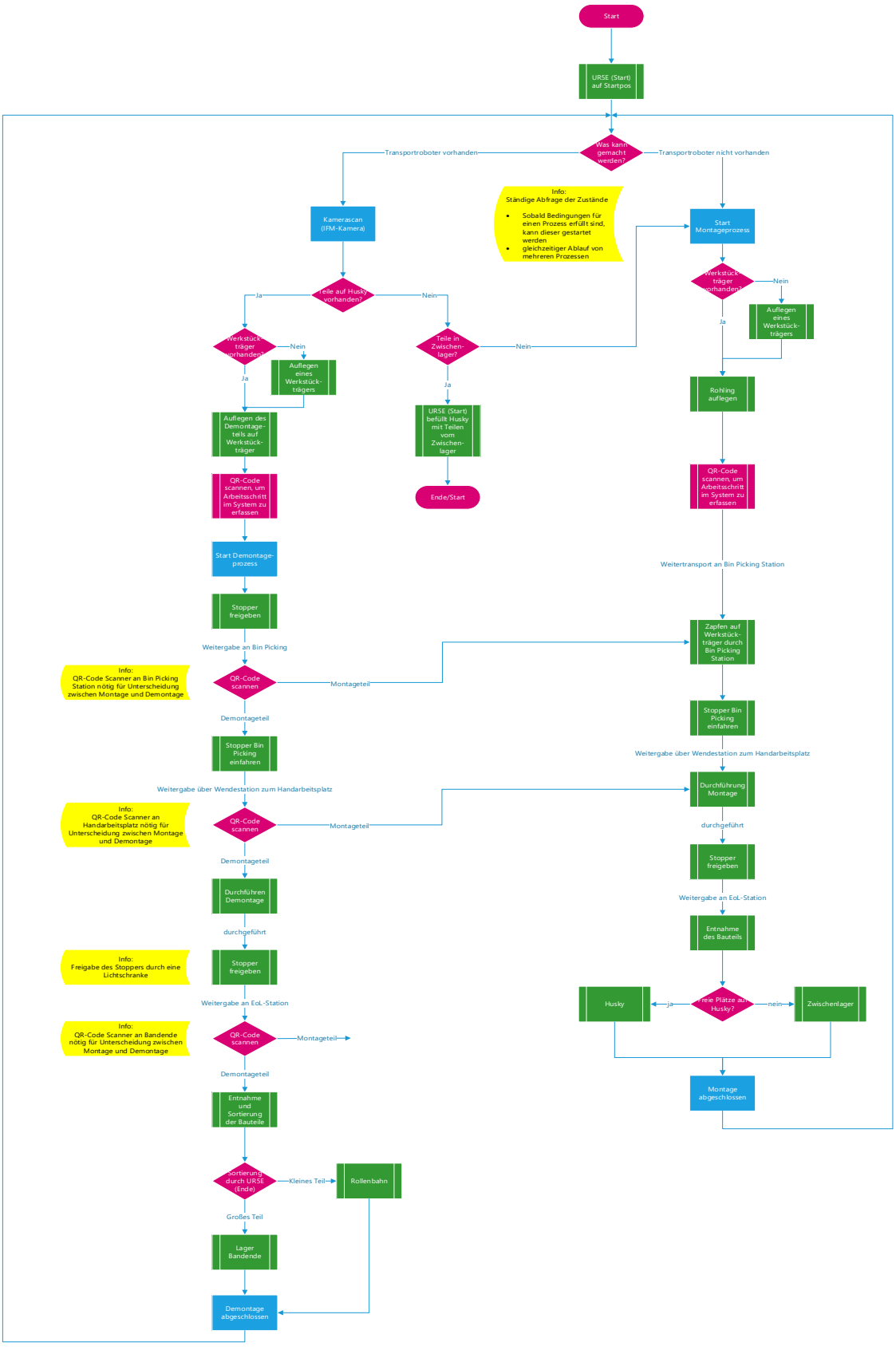


Abbildung 30: FUP

Im Folgenden wird der Ablauf der Demontage anhand des Funktionsablaufplans genauer erläutert. Im ersten Schritt wird das Bandsystem gestartet und der UR5E-Roboter fährt auf Startposition (siehe Abbildung 31).

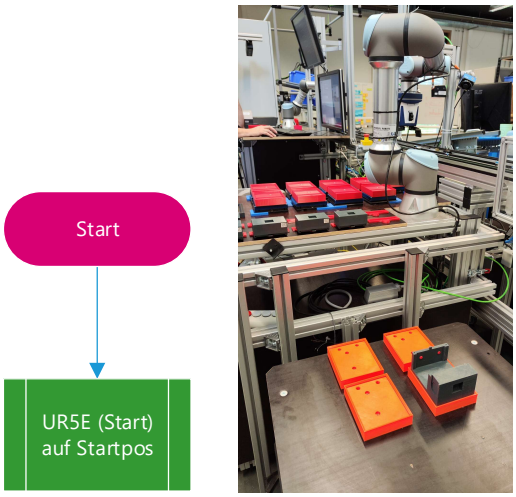


Abbildung 31: Start des Bandsystems

Nach dem Initialisierungsschritt wird abgefragt, ob der Transportroboter vorhanden ist. Ist der Transportroboter (Husky) nicht vorhanden, kann der Montageprozess gestartet werden. Der Ablauf des Montageprozesses ist in Abbildung 30 zusehen oder kann in Kapitel 4 auf Seite 28 nachgelesen werden. Ist der Transportroboter vorhanden, kann die IFM-Kamera mit dem Scan der Bauteilträger beginnen (siehe Abb. 32).

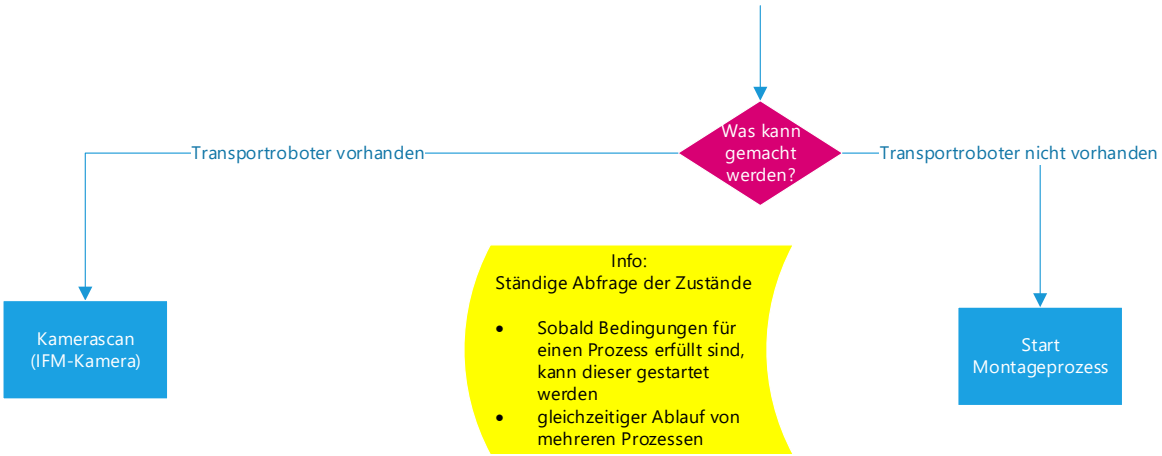


Abbildung 32: Unterscheidung der Tätigkeiten

Befinden sich beim Scannen der Werkstückträger keine Teile auf dem Husky, kann der Roboter – falls vorhanden – Teile aus dem Zwischenlager (noch nicht integriert) entnehmen und die leeren Werkstückträger bestücken (siehe Abb. 33).

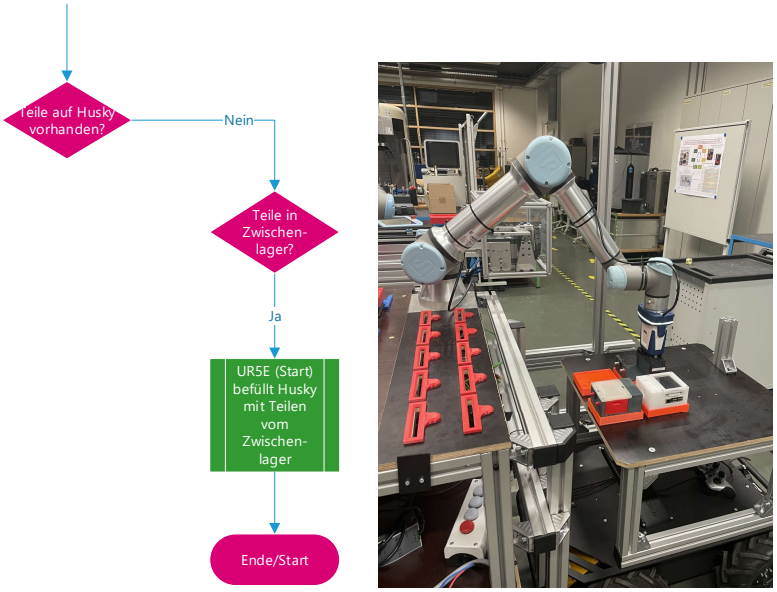


Abbildung 33: Be- und Entladen des Huskys

Sind allerdings Teile auf dem Transportroboter vorhanden, scannt die IFM-Kamera die Position dieser, um sie mit dem Roboter zu greifen. Dabei wird über Sensoren abgefragt, ob ein freier Werkstückträger auf dem Band bereitsteht, um die angelieferten Teile aufzulegen. Ist das nicht der Fall, muss zuerst ein Werkstückträger aufgelegt werden (siehe Abbildung 34). Gibt es keine Werkstückträger zum Auflegen, muss ein besetzter Werkstückträger entladen werden. Zusätzlich werden die aufgelegten Bauteile durch einen QR-Code-Scanner erfasst, um diese im System zu hinterlegen.

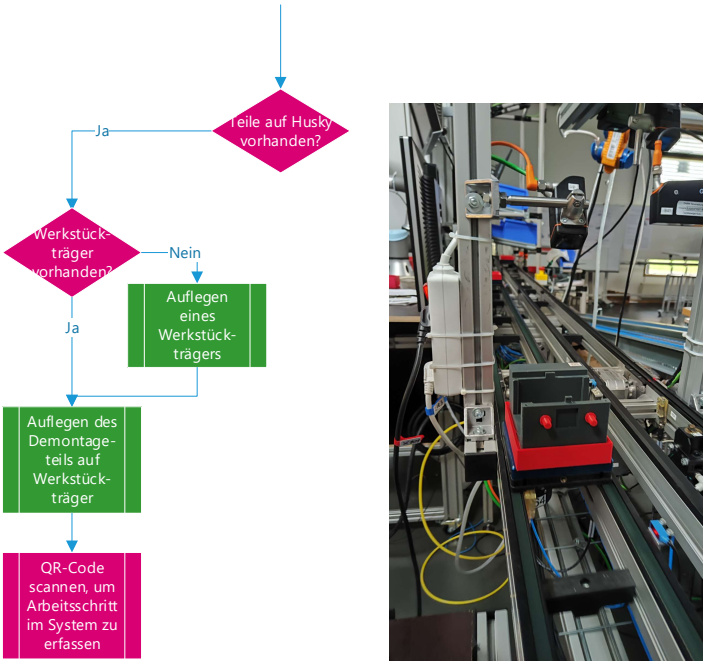


Abbildung 34: Auflegen des Demontageteils

Nach dem Auflegen des Demontageteils beginnt der Demontageprozess. Damit wird der Stopper freigegeben und der Werkstückträger kann zur nächsten Arbeitsstation transportiert werden. Der angebrachte QR-Code-Scanner erfasst den Datamatrix-Code auf dem Bauteil und startet den zugehörigen Prozessschritt. Erfasst der Scanner ein Montageteil, beginnt der Montageprozess. Wird ein Demontageteil erfasst, wird der Stopper der Bin-Picking Station eingefahren (siehe Abbildung 35).

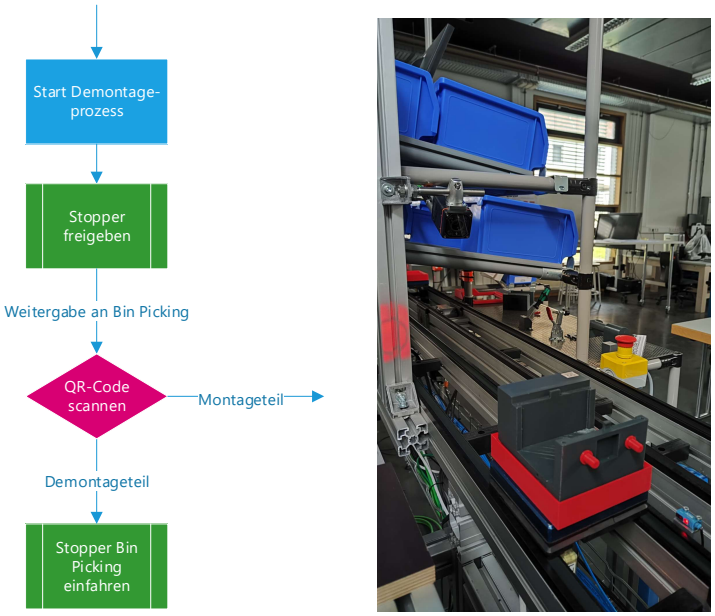


Abbildung 35: Einfahren der Bin-Picking-Stopper

Die Wendestation übergibt die Werkstückträger dem Handarbeitsplatz. Der angebrachte QR-Code Scanner erfasst erneut den angebrachten Datamatrix Code und startet den entsprechenden Prozess (siehe Abb. 36). Dabei muss der Werker die Baugruppe zerlegen und die einzelnen Werkstücke in die vorgegebenen Aussparungen des Werkstückträgers einlegen (siehe Abb. 37). Eine Lichtschranke erfasst das Ende der Demontage und löst die Freigabe des Stoppers aus.

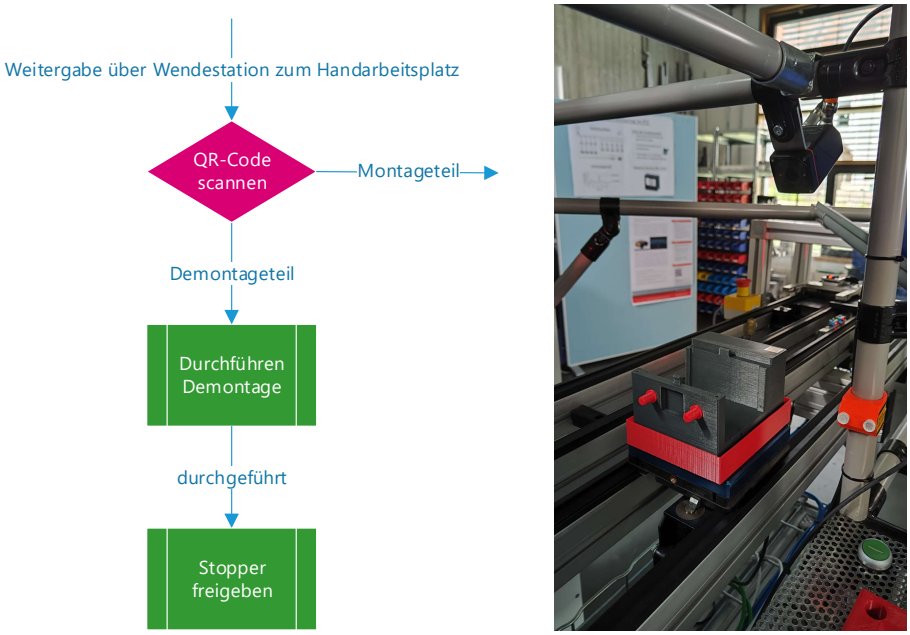


Abbildung 36: Unterscheidung Handarbeitsplatz

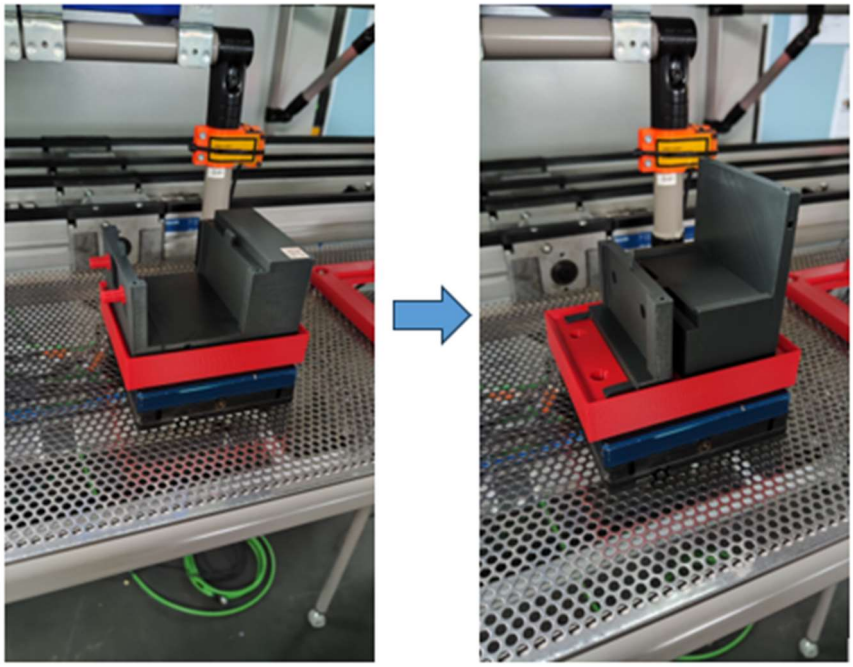


Abbildung 37: Demontage am Handarbeitsplatz

Der Werkstückträger wird bis zur EOL-Station transportiert. Mit dem angebrachten QR-Code Scanner kann das jeweilige Programm der End of Line Prüfung durchgeführt werden (siehe Abb. 38). Mit der Freigabe des Stoppers werden die Werkstückträger vor die Wendestation am Bandende transportiert, wo die Sortierung der Bauteile stattfindet.

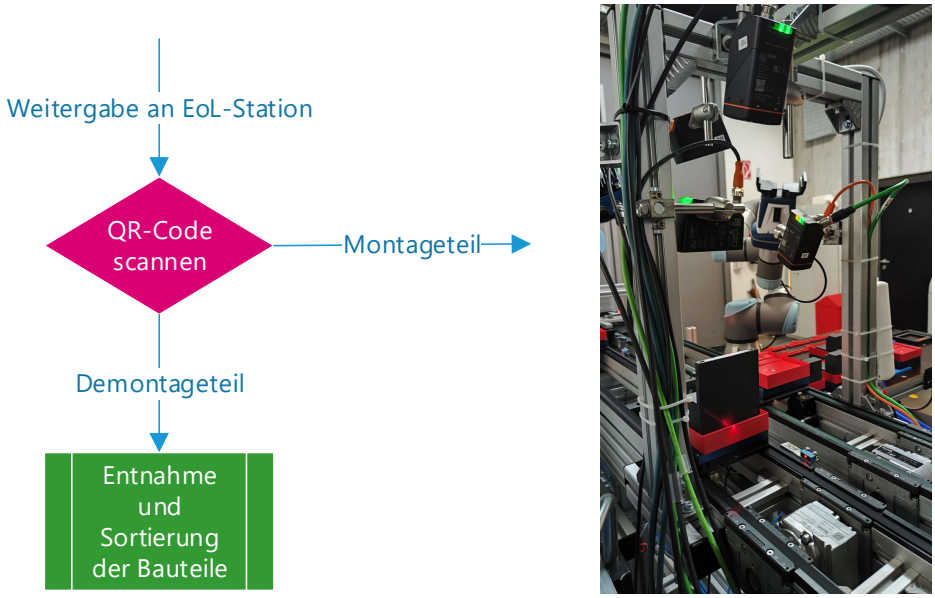


Abbildung 38: Unterscheidung EOL-Prüfung

Am Bandende erfolgt die Sortierung der geprüften Bauteile (siehe Abb. 39). Dabei werden die geprüften Montageteile, die am Handarbeitsplatz benötigt werden, über eine Rollenahn dem Handarbeitsplatz zugeführt. Die (großen) Bauteile werden in einem Lager am Bandende zwischengelagert. Nach der Sortierung der Einzelteile ist die Demontage abgeschlossen und der freie Werkstückträger kann über die Wendestation wieder an den Bandanfang übergeben werden. Damit kann erneut ein Prozess gestartet werden.

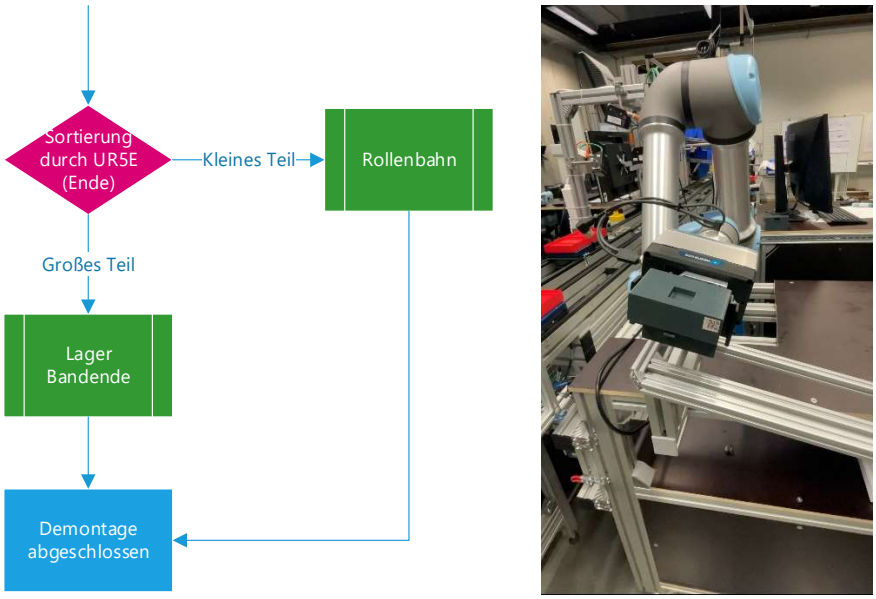


Abbildung 39: Sortierung der Bauteile

Die Herausforderung besteht darin, dass jeder Funktionsstrang unabhängig von der spezifischen Bauteilvariante von jeder Arbeitsstation durchlaufen werden kann. Hierbei ist es notwendig, klare Signale durch die Steuerung an die verschiedenen Arbeitsstationen weiterzuleiten, um eine eindeutige Trennung der beiden Prozesse zu gewährleisten. Des Weiteren muss am manuellen Handarbeitsplatz deutlich erkennbar sein, um welche Baugruppe es sich handelt, um Verwechslungen seitens des Werkers an diesem Handarbeitsplatz zu vermeiden.

5.2 Klärung der Schnittstellen

Um dem aktuellen Ablauf im Zuge der Studienarbeit einen Demontageprozess hinzufügen zu können, bedarf es einer großen Unterstützung durch weitere Projektteams, die sich expliziter mit einzelnen Arbeitsstationen beschäftigen. Da es zahlreiche unterschiedliche Schnittstellen gibt, ist es umso wichtiger, umfangreich zu kommunizieren, damit die Demontage plangemäß integriert werden kann. Zusätzlich helfen Gespräche mit den Expertengruppen, die bestmöglichen Lösungen herauszufinden und ihre Umsetzbarkeit zu prüfen. Die Schnittstellen, die hauptsächlich betrachtet werden müssen, sind in folgender Abbildung 40 veranschaulicht:



Abbildung 40: Schnittstellen Übersicht

Die erste Schnittstelle, die betrachtet werden muss, ist die Werkstückübergabe. Dabei muss geklärt werden, in welcher Reihenfolge und nach welchem System sowohl die Montage- als auch die Demontageteile auf das Transferband gelegt werden. Die Schwierigkeit besteht darin, die verschiedenen Produktvarianten aufeinander abzustimmen, sodass jegliche Konflikte vermieden werden. Dasselbe gilt für die Entnahme der Teile vom Transferband am Ende des Prozesses. Da sowohl die An- als auch die Ablieferung künftig über den Transportroboter Husky gewährleistet werden soll, muss ein System entwickelt werden, dass beide Funktionen gleichzeitig bewerkstelligen kann.

Damit die Bauteile sicher auf dem Bandsystem transportiert werden können, muss eine Anpassung an den Werkstückträgern vorgenommen werden. Dabei ist eine Absprache mit dem Team des Werkstückträgers bezüglich der Konstruktion notwendig, sodass alle Bauteilvarianten damit befördert werden können.

Eine weitere wichtige Schnittstelle ist die Kommunikation mit dem Transfersystem selbst und der damit verbundenen SPS bzw. dem Schaltschrank. Hierbei gibt es einige Herausforderungen, da Kommunikationswege zwischen den unterschiedlichen Arbeitsstationen geschaffen werden müssen, die die verschiedenen Produktvarianten unterscheiden können. Fährt ein Montage-Teil an einer Station vorbei, muss dieses als Montage-Teil identifiziert werden können und die entsprechenden Montage-Arbeitsschritte gestartet werden. Dies muss gleichermaßen für Die Demontage-Teile und für alle weiteren Varianten funktionieren, die künftig dazu kommen sollen. Um diese automatische Entscheidung realisieren zu können, wurde nach einigen Gesprächen mit dem Steuerungsteam der Entschluss gefasst, QR-Code Scanner zu installieren und die Bauteile mit QR-Codes zu versehen. Durch das Scannen der Codes soll hierdurch die Unterscheidung der Bauteilart getroffen werden. Da bei jeder Station in der Montage und der Demontage unterschiedliche Dinge durchgeführt werden müssen, ist es da Ziel, an jeder Station einen Scanner anzubringen.

Weitere wichtige Schnittstellen existieren bei den Arbeitsstationen Handarbeitsplatz und EOL-Prüfung. Diese müssen ebenfalls konfiguriert und auf einen Demontageprozess angepasst werden. Dabei ist es wiederum grundlegend, dass eine Unterscheidung zwischen Montage und Demontage automatisch durchgeführt wird, damit die notwendigen Arbeitsschritte durchgeführt werden können. Zusätzlich muss berücksichtigt werden, dass der Handarbeitsplatz mit einem Werkerassistenzsystem ausgestattet ist, weshalb eine neue Anleitung für die Demontage erstellt werden muss. Bei der EOL-Prüfung soll eine neue Wenglor-Kamera in das System integriert werden. Diese ist für die Prüfung der Qualität der Bauteile zuständig und leitet anschließend ein Signal an den UR5E Roboter weiter, der die Teile schlussendlich sortieren kann.

Eine weitere Schnittstelle ist die Entwicklung eines digitalen Zwillings. Alle Änderungen, die an dem Bandsystem vorgenommen werden, müssen an ein

Expertenteam weitergegeben werden, die folglich den digitalen Zwilling der Station jederzeit auf dem aktuellen Stand halten.

Die letzte Schnittstelle, die betrachtet werden muss, ist das ERP-System SAP. Im Zuge der aktuellen Studienarbeiten hat ein Projektteam die Thematik bekommen, das ERP-System SAP einzuführen. Hierbei ist es sehr wichtig, dass ausreichend kommuniziert wird, da in diesem komplexen System viele Schwierigkeiten hervortreten können. Die größte Herausforderung besteht darin, die Buchungen von Montage- und Demontage-Teile richtig zu erfassen und die aufeinanderfolgenden Arbeitsschritte korrekt zu hinterlegen. Das ERP-System kann ebenfalls die Steuerung der Anlage über ein MES-System unterstützen, weshalb alle relevanten Informationen des erarbeiteten Demontageprozesses weitergegeben werden müssen.

6 Einführung des Demontageprozesses

Bisher wurde detailliert dargelegt, wie der neu eingeführte Demontageprozess zukünftig aussehen und ablaufen soll. Damit dies in der Realität umgesetzt werden kann und eine Unterscheidung zwischen den Prozessen möglich ist, gilt es, einige Maßnahmen zu treffen. In folgendem Kapitel wird nun erläutert, welche Tätigkeiten durchgeführt werden müssen. Dabei liegt das Hauptaugenmerk auf der Anpassung und Erweiterung des Bandsystems. Die Steuerung muss anschließend vollumfänglich überarbeitet werden, wodurch eine komplett neue Vernetzung durchgeführt werden soll, damit die SPS künftig über ein MES-System mit dem ERP-System kommuniziert.

6.1 Neukonzipierung Werkstückträger

Um den Demontageprozess nahtlos in den bestehenden Montageprozess zu integrieren, sind Änderungen an den Werkstückträger erforderlich. Diese Werkstückträger dienen dazu, unterschiedliche Varianten von Bauteilen (sowohl Montage als auch die Demontage) sicher und positionsgenau zu jeder Arbeitsstation zu transportieren. Mit der Einführung des Demontageprozesses und somit der Einführung einer neuen Variante, werden die Werkstückträger konstruktiv angepasst, um den damit verbundenen Anforderungen gerecht zu werden. Änderungen können dabei unmittelbar über ein additives Fertigungsverfahren umgesetzt werden. In diesem Fall wurde ein FDM-Drucker verwendet (siehe Abb. 41).

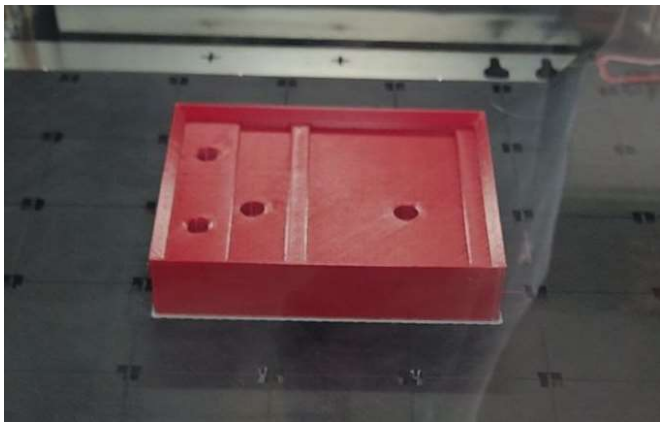


Abbildung 41: 3D-Druck des neuen Werkstückträgers

Die Anpassungen an die Werkstückträger zielen darauf ab, die Anforderungen des derzeitigen Montageprozesses zu erfüllen und zusätzlich die Separation der Demontageteile zu gewährleisten. Zu diesem Zweck werden drei Vertiefungen in den Werkstückträgern eingeführt. Diese dienen einerseits dazu, die Position der Bauteile während des Transports auf dem Transfersystem zu sichern, und andererseits erleichtern sie die Sortierung der Demontageteile am Handarbeitsplatz.

Die geometrische Auslegung der Flächen ist derart gestaltet, dass die Montageteile ausreichend Auflagefläche haben, wodurch die Anpassungen keinerlei Auswirkungen auf den Montageprozess haben. Durch die Änderungen der Aussparungen im Werkstückträger wird zudem beachtet, dass die Schraubenkopfsenkungen im gleichen Maß vertieft werden. Insgesamt entstehen hierdurch drei Ebenen (siehe Abb. 42), die den sicheren Transport der Montage- und Demontageteile ermöglichen

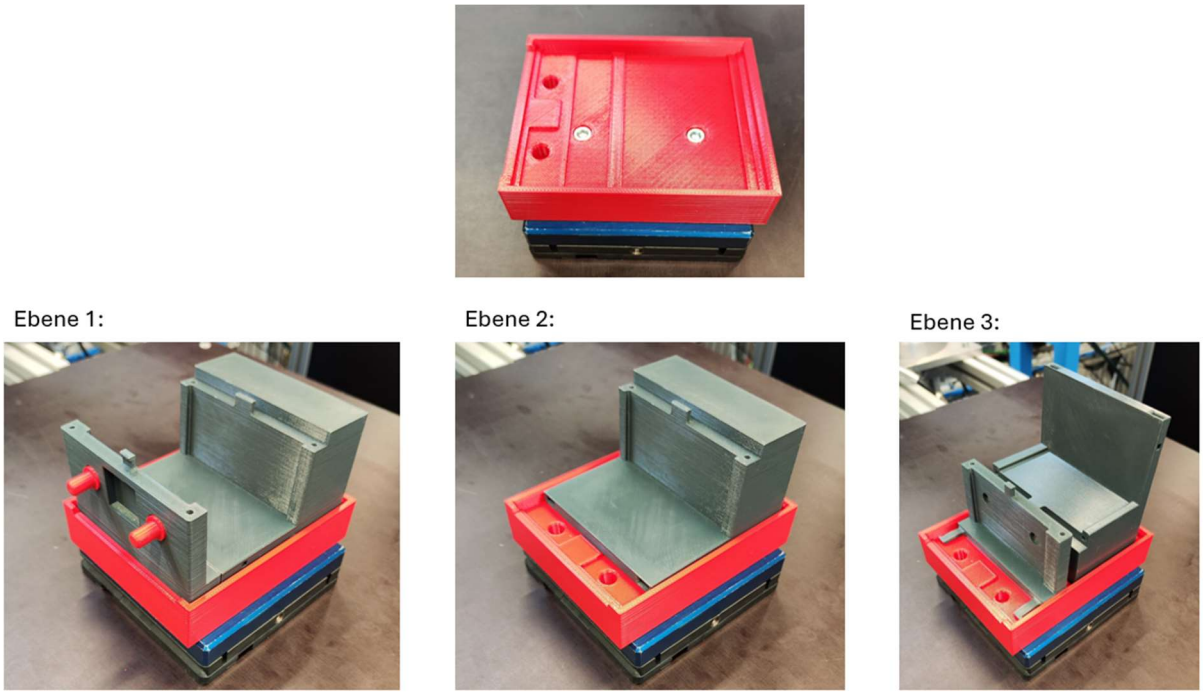


Abbildung 42: Anpassungen des Werkstückträgers

6.2 Integration eines UR5E-Roboters

Mit der Installation eines zusätzlichen UR5E-Roboters (siehe Abb. 43) am Ende der Prozesskette an das Transfersystem, können weitere Tätigkeiten im Bereich der

Entnahme der Bauteile durch den Roboter übernommen werden. Explizit sollen durch den UR5E-Roboter folgende Tätigkeiten an dieser Station ausgeführt werden:

- **Bauteilanalyse durch eine Kamera:** Die Einzelteile sollen durch den Roboter in den Überprüfungsbereich der Wenglor-Kamera geführt werden, um potenzielle Schäden bzw. Abnutzungen festzustellen.
- **Sortierung der Demontageteile:** Dabei sollen die demontierten Einzelteile vom Handarbeitsplatz nach Gut- und Schlechtteile separiert werden.
- **Rückführung zum Handarbeitsplatz:** Einzelne Bauteile der Baugruppe können dem Handarbeitsplatz direkt mit der Hilfe des UR5E-Roboters über eine Rollenbahn zugeführt werden.

Die Bauteilhandhabung erfolgt mithilfe eines UR5E-Roboters, der mit einem Schunk Greifer ausgestattet ist. Dieser Greifer ist über die UR5E-Schnittstelle mit dem entsprechenden Treiber installiert und mit den dazugehörigen Greifer-Parametern im System konfiguriert. Dabei wurde auch der Tool Center Point (TCP) in den Einstellungen hinterlegt. Die Programmierung erfolgt unmittelbar über das Bedienfeld des UR5E-Roboters. Dadurch können die spezifischen Bewegungen und Positionen für den Dauerlauf nachgebildet und direkt über das Bedienfeld erlernt werden.

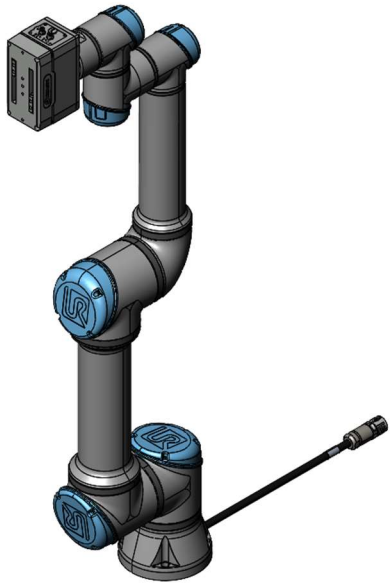


Abbildung 43: Roboter UR5e[41]

[41] Roboter: Universal Robots, Internetquelle; Greifer: Schunk, Internetquelle

6.3 Aufbau der QR-Code Scanner

Für die Umsetzung der Prozesstrennung sind QR-Code-Scanner (siehe Abb. 44) fest in das Bandumlaufsystem integriert und arbeiten synchron, um eine kontinuierliche und zuverlässige Erfassung der QR-Codes zu gewährleisten. Diese Scanner sind geeignet für bewegliche Bauteile, um eine präzise Erfassung der QR-Codes zu ermöglichen. Durch ihre Positionierung an jeder Arbeitsstation, gewährleisten sie eine Erfassung aller Werkstückträger, die durch das System transportiert werden. Mit der Anbringung eines QR-Code-Scanners an jeder Station ist eine individuelle Unterscheidung möglich, welche Bauteilvariante aktuell vorliegt und welcher Arbeitsprozess somit gestartet werden muss.

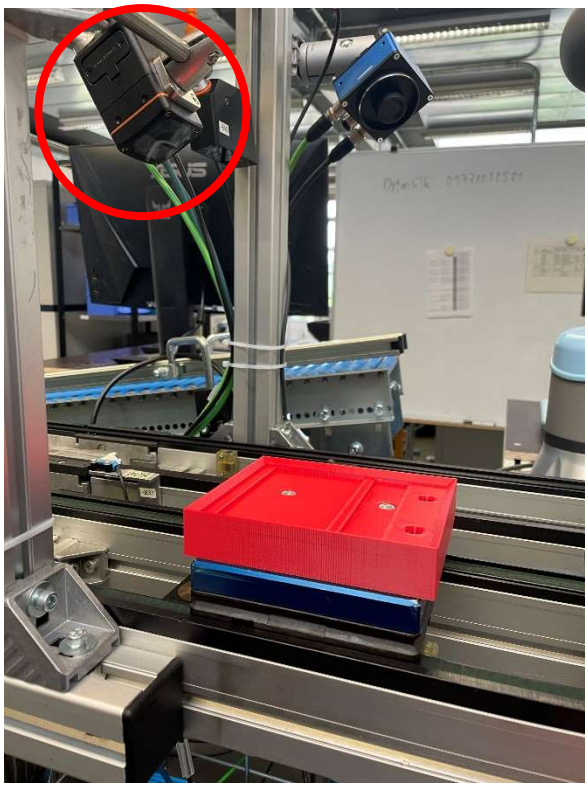


Abbildung 44: QR-Code Scanner

Das MES erfasst und verarbeitet die Daten der QR-Code-Scanner. Basierend auf dem Scannen der an den Bauteilen angebrachten Codes und den vordefinierten Regeln entscheidet das MES, ob das vorliegende Bauteil montiert oder demontiert werden soll, da aktuell nur zwei Varianten im System eingepflegt sind. Diese Entscheidungen werden in Echtzeit getroffen und an die entsprechenden Stationen im

Fertigungsprozess übermittelt. Mit dem Aufbau der QR-Code-Scanner können die Prozesse somit voneinander unterschieden und zusätzlich die erzeugten Daten über das MES für Auswertungen, Effizienzsteigerungen oder auch Optimierungspotenziale genutzt werden.

6.4 Erweiterung des Transfersystems

Mit der Erweiterung des Transfersystems wird eine Rollenbahn (siehe Abb. 45) installiert, um die EOL-geprüften Teile wieder dem Produktionsprozess zuzuführen. Dabei können die demontierten Einzelteile dem Handarbeitsplatz zugeführt und im Montageprozess wieder verwendet werden. Hier kommt das Konzept der Kreislaufwirtschaft zum Tragen, da die Einzelteile der Baugruppen wiederverwendet und erneut im Produktionsprozess eingesetzt werden. Die Zuführung erfolgt dabei vollautomatisch. Der Roboter UR5E entnimmt die Einzelteile vom Werkstückträger, prüft diese auf Qualitätsmerkmale und legt sie anschließend nach bestandener Prüfung auf die Rollenbahn. Über die Rollenbahn gelangen diese Teile zum Handarbeitsplatz und können dort weiterverarbeitet werden.

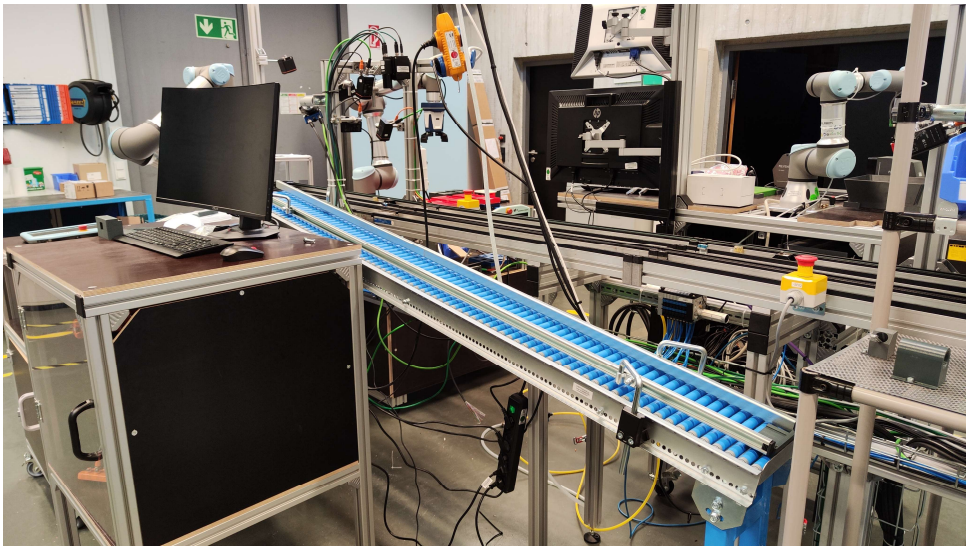


Abbildung 45: Rollenbahn

6.5 Aufbau einer EOL-Kamera

Um zukünftige Qualitätsmängel an den Bauteilen zu identifizieren, wird eine End-of-Line (EOL) Prüfung durchgeführt. Zu diesem Zweck ist eine Kamera der Firma *Wenglor* an das Transfersystem angebracht (siehe Abbildung 46). Diese Kamera ist dafür vorgesehen, verschiedene Merkmale sowohl an montierten als auch an demontierten Bauteilen zu überprüfen.

Im Rahmen der End-of-Line Prüfung könnte die Kamera die folgenden Aufgaben übernehmen:

Form- und Lageerkennung:

- Formerkennung: Die Kamera kann verschiedene Formen und Geometrien erkennen und Prüfen, ob sie den Spezifikationen entspricht.
- Lageerkennung: Die Kamera kann zur Überprüfung der korrekten Ausrichtung von Teilen verwendet werden, was für automatisierte Montageprozesse entscheidend ist.

Prüfung der Vollständigkeit:

- Vollständigkeitskontrolle: Die Kamera kann eingesetzt werden, um sicherzustellen, dass alle Komponenten einer Variante vorhanden sind und korrekt montiert wurden.
- Prüfung von Montageprozessen: Als weitere Einsatzmöglichkeit können Schrauben, Clips, Stifte oder andere Komponenten einer Variante auf ihre korrekte Position und Anzahl überprüft werden.



Abbildung 46: Wenglor Kamera[42]

6.6 Aufbau eines Materiallagers

Nach der EOL-Prüfung sollen die als Gutteile geprüften Komponenten erneut dem Montageprozess zugeführt werden. Da die aktuelle Variante aus zwei Teilen besteht, ist die Sortierung im ersten Schritt lediglich für diese beiden Teilkomponenten notwendig. Im Kapitel *6.4 Erweiterung des Transfersystems* wurde bereits eine neue Rollenbahn implementiert, die für den Transport des kleinen Teils zum Handarbeitsplatz zuständig ist. Im Vergleich dazu soll das größere Teil im Prozess bleiben und unmittelbar erneut montiert werden.

Um dies umzusetzen, soll der Ur5e (Ende) Roboter das i.O. geprüfte Teil um 90° drehen und wieder in Montageposition auf den Werkstückträger stellen. Dieser kann anschließend zur Wendestation transportiert und von dort auf das linke Transportband übergeben werden. Somit kann der Montageprozess unmittelbar starten, ohne dass das Bauteil zwischengelagert wurde. Da dieser Prozess einen hohen Steuerungsaufwand erfordert und eine Umsetzung im Rahmen dieser Studienarbeit

[42] Wenglor, Internetquelle

nicht mehr möglich ist, wurde als Übergangslösung ein Materiallager (siehe Abb. 47) angebaut, welches die großen Teilkomponenten aufnehmen kann.

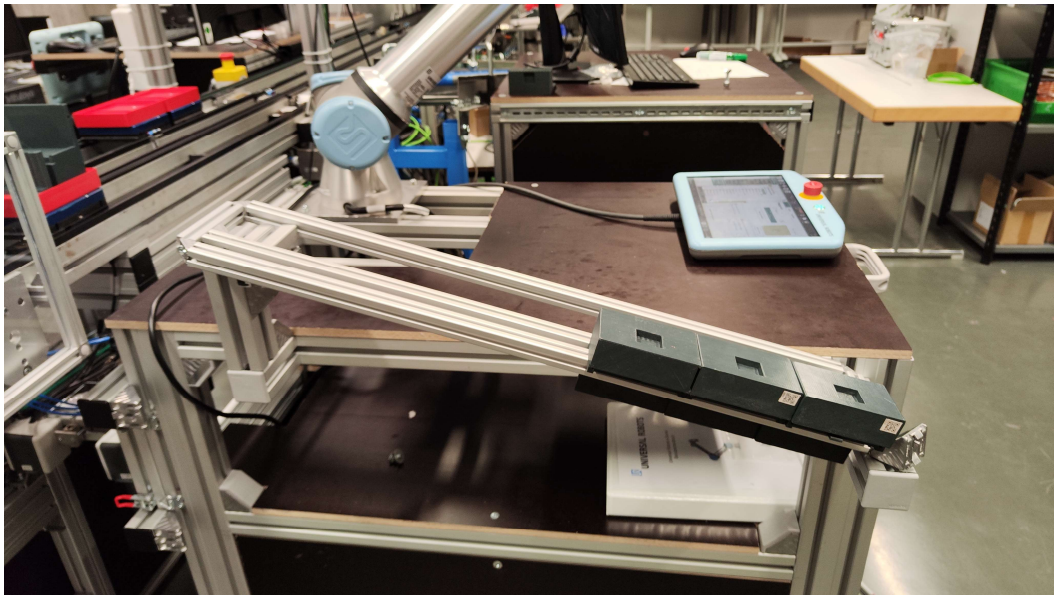


Abbildung 47: Materiallager am Ende des Bandsystems

Das Lager ist leicht entnehmbar, wodurch ein gleichzeitiger Transport von bis zu sechs Komponenten möglich ist. Solange die automatisierte Lösung steuerungstechnisch noch nicht in das System eingebunden ist, muss dieser Transport des Lagers manuell durch einen Werker durchgeführt werden, sobald die Teile benötigt werden oder das Lager vollständig belegt ist.

7 Handlungsempfehlung und Fazit

Die Einführung des Demontageprozess wurde im Zuge dieser Studienarbeit weitgehend vorangetrieben. Aufgrund einiger Faktoren wie beispielsweise dem Umbau des Schaltschranks, dem Auftreten von Kapazitätsmängeln und Problemen im aktuellen System, konnte das Konzept jedoch nicht vollumfänglich umgesetzt werden. Aus diesem Grund werden nun weitere Handlungsschritte dargelegt und Potentiale aufgezeigt, die in darauffolgenden Studienarbeiten betrachtet und realisiert werden können, um den Demontageprozess zu verbessern.

Der wichtigste Aspekt ist dabei die Steuerung der gesamten Anlage. Aufgrund der Einführung eines ERP-Systems muss eine Überarbeitung stattfinden und die Steuerung zukünftig über das ebenfalls eingeführte MES-System bewerkstelligt werden. Da hierfür eine Neuprogrammierung der SPS erforderlich ist, muss jede Station im System neu aufgebaut werden. Dabei ist unbedingt zu beachten, dass die Unterscheidung zwischen Montage, Demontage und den verschiedenen Produktvarianten über die QR-Code-Scanner ebenfalls berücksichtigt und implementiert wird. Gleichzeitig müssen hierfür passende QR-Codes an den Werkstücken angebracht werden, sobald das SAP-System eingeführt wurde. Mit der Einführung des SAP-Systems ergeben sich außerdem weitere Möglichkeiten, wie zum Beispiel die Datenerfassung der verschiedenen Varianten bezüglich Stückzahl und Prozesszeiten sowie dem Abbilden eines digitalen Arbeitsplans.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Durchführung des Demontageprozesses ist die Zulieferung der Komponenten. Der Kreislauf kann nur entstehen, wenn die Teile über den Husky automatisiert vom RITZ in das PTZ transportiert und anschließend dem Bandsystem zugeführt werden. Die durch den Roboter durchgeführte Übergabe der Komponenten auf das Band soll dabei über ein Signal der IMF-Kamera ausgelöst werden. Die Installation dieser Kamera ist bereits erfolgt, weshalb folglich das Hauptaugenmerk auf die systemtechnische Einbindung gelegt werden muss.

Ein nächster Handlungsschritt ist die Aktualisierung des Werkerassistenzsystems am Handarbeitsplatz. Dies muss überabeitet werden, um zukünftig alle Produktvarianten

sowie die Demontage abbilden zu können und auftretende Montagefehler zu reduzieren.

Um eine ausreichende Qualität der Werkstücke nach einem Kreislauf zu gewährleisten, ist es zwingend notwendig, eine EOL-Prüfung der demontierten Teile durchzuführen. Hierfür kann die bereits installierte Wenglor-Kamera genutzt werden. Diese muss ebenfalls systemseitig programmiert werden, um eine Unterscheidung zwischen Gut- und Schlechtteilen treffen zu können. Der Ablauf dieser Sortierung ist bereits über den Roboter abgebildet, jedoch noch nicht mit der Kamera gekoppelt.

Ein letztes Potential, welches die Kreislaufwirtschaft verbessert, ist die direkte Übergabe der Gutteile vom Bandende zum Bandanfang. Dabei soll das Materiallager für den Startprozess automatisch nach einer positiven Prüfung durch die Roboter aufgefüllt werden. Das Zwischenlagern in einem zusätzlichen Materiallager, welches als Übergangslösung aufgebaut wurde, wäre somit überflüssig und könnte folglich entfernt werden.

Mit dieser Studienarbeit wurde das Konzept des Demontageprozesses umfangreich ausgearbeitet sowie die wichtigsten Grundbausteine für einen gemeinsamen Ablauf der unterschiedlichen Prozesse in einem Gesamtsystem gelegt. Folglich ist es wichtig, darauf aufzubauen und den Prozess durch die genannten Optimierungsmöglichkeiten kontinuierlich zu verbessern und weiterzuentwickeln. Dabei besteht zu jeder Zeit das Ziel, folgenden Prozessablauf (siehe Abb. 48) reibungsfrei in der Realität umzusetzen:

Roboter

Transferband

Prüfung

Manuell

Nr.	Prozessschritte: Demontage
	Husky fährt zurück mit endmontiertem Bauteil
1.	Werkstückübergabe Roboter 1
2.	Fahren bis Stopp 1
3.	„Scan“ QR-Code -> Demontageteil
4.	Weiterfahren bis Bin Picking Station Stopp 2
5.	„Scan“ QR-Code -> Demontageteil
6.	Weiterfahrt
7.	Wenden an der Wendeplattform und fahren bis Stopp 3
8.	„Scan“ QR-Code -> Demontageteil
9.	Handarbeitsplatz, manuelle Entnahme durch Werker - Manuelle Demontage - Lichtschranke oder Quittieren
10.	Weiterfahren bis zur EoL Prüfkamera -> Stopp 4
11.	„Scan“ QR-Code -> Demontageteil
12.	Weiterfahren bis „Ende“ Stopp 5
13.	Demontageprüfung durch Wenglor-Kamera
14.	Sortierung der Teilkomponenten durch Roboter 3 (Zunächst nur Rollenbahn und Demontage-Zwischenlager)
15.	Werkstückträger fährt zur Wendestation -> Stopp 1

Abbildung 48: Prozessablauf Demontage

Wenn diese Prinzipien umgesetzt werden, kann eine Kreislaufwirtschaft erreicht werden. Durch die mehrfache Wiederverwendung von Komponenten und die Maximierung ihrer Nutzungsdauer werden Ressourcen eingespart. Dies ist ein wichtiger Schritt in die Richtung einer nachhaltigen Produktion.

VIII. Literaturverzeichnis

DECHEMA: Ressourceneffiziente Kreislaufwirtschaft – Innovative Produktkreisläufe (ReziProK), Abschlusspublikation, 2023. Jg.

ESKP (2017): Müllmanagement in Asien, https://themenspezial.eskp.de/plastik-in-gewaessern/handlungsoptionen/muellmanagement-in-asien/, Einsichtnahme: 06.03.2024

EUROSTAT (2022): Beschäftigte in Sektoren der Kreislaufwirtschaft, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/cei_cie011/default/table?lang=de

EUROSTAT (2022): Recyclingquote verschiedener Abfallarten in der EU im Jahr 2020, zitiert nach de.statista.com, https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1078010/umfrage/recyclingquote-verschiedener-abfallarten-in-der-eu/

FRAUNHOFER IPK (2023): EIBA, https://www.ipk.fraunhofer.de/de/zusammenarbeit/referenzen/eiba.html

FÖRTSCH, GABI/MEINHOLZ, HEINZ (2023): Handbuch Betriebliche Kreislaufwirtschaft, 2. Aufl., Berlin, Heidelberg.

GELLERT, BENJAMIN/BUXMANN, HENRY NICOLAI/ORTH, RONALD (2012): Geschäftsmodellentwicklung für Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit, in: Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 92. Jg., S1, S. 29–36.

KRAFT, MICHAEL HANS GINO/CHRIST, OLIVER/SCHERER, LUKAS (2022): Management der Kreislaufwirtschaft, Wiesbaden.

KREUTZER, RALF T. (2023): Kreislaufwirtschaft, Wiesbaden.

LEHMACHER, WOLFGANG/BÖDECKER, JOHANN (2023): Circular Economy, Wiesbaden.

MÜNGER, ALFRED (2021): Kreislaufwirtschaft als Strategie der Zukunft, 1. Aufl., Freiburg.

SCHUNK: https://schunk.com/de/de/greiftechnik/parallelgreifer/egk/egk-50-ei-m-b/p/000000000001491780

SILPA KAZA/LISA YAO/PERINAZ BHADA-TATA (2018): What a Waste 2.0: Aglobal Snapshot of Solid Waste to 2050, Washington.

THE LEAN SIX SIGMA COMPANY: https://www.theleansixsigmacompany.de/critical-to-quality-ctq/

UNIVERSAL ROBOTS: https://www.universal-robots.com/download/mechanical-e-series/ur5e/robot-step-file-ur5e-e-series/

WENGLOR: https://www.wenglor.com/de/Machine-Vision/Smart-Cameras-und-Vision-Sensoren/Smart-Camera-B60/Smart-Camera/p/B60P113

IX. Anhang

Review des Projektes in der Zukunftsfabrik Bodensee

1. Gruppenname: Demontageprozess

2. Zeitraum: 01.10.2023-01.07.2024

3. Problembeschreibung:

Die Produktion in der Zukunftsfabrik Bodensee verfolgt das Ziel, eine sogenannte Kreislaufwirtschaft automatisiert einzuführen. Dabei sollen die zuvor montierten Bauteile nach einem Demontageprozess wieder neuen Produkten zugeführt werden (Remanufacturing). Diese Demontage soll hierbei über das selbe Bandsystem laufen, sodass die Teilkomponenten für eine erneute Verwendung zur Verfügung gestellt werden können.

4. Ziele der Studienarbeit:

Das Ziel dabei ist, einen Demontageprozess im bestehenden Produktionsnetzwerk zu konzipieren und zu realisieren. Dafür muss zu Beginn die Einarbeitung in das Produktionssystem erfolgen, um folglich einen Demontageprozess planen und in die Realität umsetzen zu können. Als Grundlage soll dabei der Aufbau neuer Komponenten dienen. Schlussendlich soll der geplante Demontageprozess durch die Zusammenarbeit mit weiteren Projektarbeiten in Betrieb genommen und validiert werden.

5. Fazit der Studienarbeit / Zusammenfassung:

Mit dieser Studienarbeit wurde das Konzept des Demontageprozesses umfangreich ausgearbeitet sowie die wichtigsten Grundbausteine für einen gemeinsamen Ablauf der unterschiedlichen Prozesse in einem Gesamtsystem gelegt. Folglich ist es wichtig, darauf aufzubauen und den Prozess durch die genannten Optimierungsmöglichkeiten kontinuierlich zu verbessern und weiterzuentwickeln. Dabei besteht zu jeder Zeit das Ziel, folgenden Prozessablauf reibungsfrei in der Realität umzusetzen.

6. Ausblick

Der wichtigste Aspekt ist dabei die Steuerung der gesamten Anlage. Aufgrund der Einführung eines ERP-Systems muss eine Überarbeitung stattfinden und die Steuerung zukünftig über das ebenfalls eingeführte MES-System bewerkstelligt werden. Da hierfür eine Neuprogrammierung der SPS erforderlich ist, muss jede Station im System neu aufgebaut werden. Dabei ist unbedingt zu beachten, dass die Unterscheidung zwischen Montage, Demontage und den verschiedenen Produktvarianten über die QR-Code-Scanner ebenfalls berücksichtigt und implementiert wird. Gleichzeitig müssen hierfür passende QR-Codes an den Werkstücken angebracht werden, sobald das SAP-System eingeführt wurde. Mit der Einführung des SAP-Systems ergeben sich außerdem weitere Möglichkeiten, wie zum Beispiel die Datenerfassung der verschiedenen Varianten bezüglich Stückzahl und Prozesszeiten sowie dem Abbilden eines digitalen Arbeitsplans.

Ein weiterer wichtiger Aspekt für die Durchführung des Demontageprozesses ist die Zulieferung der Komponenten. Der Kreislauf kann nur entstehen, wenn die Teile über den Husky automatisiert vom RITZ in das PTZ transportiert und anschließend dem Bandsystem zugeführt werden. Die durch den Roboter durchgeführte Übergabe der Komponenten auf das Band soll dabei über ein Signal der IMF-Kamera ausgelöst werden. Die Installation dieser Kamera ist bereits erfolgt, weshalb folglich das Hauptaugenmerk auf die systemtechnische Einbindung gelegt werden muss.

Ein nächster Handlungsschritt ist die Aktualisierung des Werkerassistenzsystems am Handarbeitsplatz. Dies muss überabeitet werden, um zukünftig alle Produktvarianten sowie die Demontage abbilden zu können und auftretende Montagefehler zu reduzieren.

Um eine ausreichende Qualität der Werkstücke nach einem Kreislauf zu gewährleisten, ist es zwingend notwendig, eine EOL-Prüfung der demontierten Teile durchzuführen. Hierfür kann die bereits installierte Wenglor-Kamera genutzt werden. Diese muss ebenfalls systemseitig programmiert werden, um eine Unterscheidung zwischen Gut- und Schlechtteilen treffen zu können. Der Ablauf dieser Sortierung ist bereits über den Roboter abgebildet, jedoch noch nicht mit der Kamera gekoppelt.

Ein letztes Potential, welches die Kreislaufwirtschaft verbessert, ist die direkte Übergabe der i.O.-Teile von Bandende zu Bandanfang. Dabei soll das Materiallager für den Startprozess automatisch nach einer positiven Prüfung durch die Roboter aufgefüllt werden. Das Zwischenlagern in einem zusätzlichen Materiallager, welches als Übergangslösung aufgebaut wurde, wäre somit überflüssig und könnte folglich entfernt werden.

7. Lessons Learned

Bei der Bearbeitung eines Projekts mit mehreren Gruppen ist der wichtigste Aspekt, ausreichend zu kommunizieren. Dies wurde insbesondere im zweiten Teil der Studienarbeit klar.

Eine weitere Erkenntnis ist, dass eine umfangreiche Projektübergabe zu nachfolgenden Gruppen notwendig ist. Bevor die neuen Studienarbeiten starten können, sollte diesen der aktuelle Zustand des Systems vollumfänglich vertraut sein. Darauf aufbauend kann folglich eine effiziente Optimierung stattfinden.

Ein weitere Aspekt ist die Schaffung einer klaren Zielsetzung zu Beginn der Studienarbeit. Insbesondere bei der Bearbeitung eines gemeinsamen Projekts mit weiteren Gruppen ist es wichtig, vor Bearbeitungsstart die genauen Ziele aller Gruppen zu kennen, um darauf aufbauend ein eigenes Vorgehen zu erarbeiten.

8. Aufgabenliste und Umsetzung

ToDos	Status	Umsetzung & Begründung
Konzeptentwicklung Demontageprozess	Erledigt	
Erstellung von Ablaufplänen der Prozesse Montage und Demontage	Erledigt	
Klärung der Schnittstellen zwischen den Arbeitsplätzen	Erledigt	
Erweiterung des Bandsystems durch QR-Code-Scanner	Erledigt	
Erweiterung des Bandsystems durch eine Rollenbahn	Erledigt	
Erweiterung des Bandsystems durch ein Übergangs-Materiallager	Erledigt	
Erweiterung des Bandsystems durch eine Wenglor-Kamera	Erledigt	
Installation sowie Integrierung eines Ur5e-Roboters	Erledigt	
Programmierung des Roboters	Erledigt	
Versetzen des Roboters an die richtige Position	Erledigt	
Installation eines Greifers	Erledigt	
Neukonzipierung der Werkstückträger	Erledigt	
Drucken und Anbringen neuer Werkstückträger	Erledigt	

Integration des Demontageprozesses in die Anlagensteuerung (SPS)	Nicht erledigt	Umsetzung: Steuerung der Anlage zukünftig über das MES und ERP System. Begründung: Kapazitätsprobleme anderer Schnittstellen.
Tiefgründige Einarbeitung in die Wenglor-Kamera	Nicht erledigt	Umsetzung: Einarbeitung in die EOL-Prüfung mit der Wenglor-Kamera. Begründung: Nicht in dieser Studienarbeit vorgesehen.
Zulieferung und Auflegen der Montageteile auf das Transfersystem	Nicht erledigt	Umsetzung: Transfer der Bauteile über Husky und Entnahme der Teile durch Roboter 1. Begründung: Nicht im Umfang unserer Studienarbeit (Betrifft eine andere Schnittstelle).
Aktualisierung des Werkerassistenzsystems	Nicht erledigt	Umsetzung: Erarbeiten einer digitalen Anleitung für die Variante Demontage. Begründung: Betrifft eine andere Schnittstelle.

Unterschrift Projektleitung: _____

Datum: 07.06.2024