



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

## Diplomarbeit

# Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen am Beispiel der Fertigung eines Fahrerlosen Transportsystems

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

## Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Sebastian Schlund**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

**Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Fabian Holly, B.Sc.**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung,  
Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Manfred Strasser**



Wien, im Oktober 2022

---

Manfred Strasser



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

## **Diplomarbeit**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

## Danksagung

Ein großer Dank gebührt allen Personen, die mich tatkräftig, auf fachlicher sowie persönlicher Ebene, bei der Entstehung dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Ich bedanke mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Sebastian Schlund für die Möglichkeit der Verfassung dieser Arbeit am Institut für Managementwissenschaften, der Technischen Universität Wien. Sehr lobend zu erwähnen ist, dass an diesem Institut die Zukunftsträchtigkeit von Kreislaufwirtschaft erkannt wird.

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Fabian Holly, B.Sc. verdient sich einen besonderen Dank für die wissenschaftliche und fachliche Betreuung. Er hat das Verfassen dieser Diplomarbeit mit seiner Lösungsorientiertheit sowie wertschätzenden, konstruktiven Kritik stets unterstützt.

Ein weiterer Dank gebührt David Niedermaier von der Firma Agilox Services GmbH, der es ermöglicht hat, die Diplomarbeit anhand eines ihrer Produkte zu verfassen. Perica Marina, Daniel Zindl und Markus Vollmer, ebenfalls Firma Agilox, danke ich für die Bereitstellung der Informationen zur Umsetzung dieser Arbeit.

Bei meiner Familie bedanke ich mich, dass sie mir dieses Studium ermöglicht haben und mich stets auf meinem Lebensweg bestärken. Ein besonderer Dank gilt meinem Vater für seine Unterstützung mit Feedback beim Verfassen dieser Diplomarbeit.

Eine weitere Anerkennung ergeht an meine Kommilitonen, allen voran Mark Bartelmuss, Andreas Kuzmits, Marko Brumnik, Robert Ulrich, Werner Kritzinger, Heinz Stanek und Florian Mick, für die vielen gemeinsamen Lernmarathons und den Spaß dabei, den wir uns trotz großer Herausforderungen immer bewahrten.

## Kurzfassung

Unser Planet verfügt über eine endliche Anzahl von natürlichen Ressourcen. Der Verbrauch dieser ist in den letzten Jahrzehnten stetig gestiegen. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Konsumation von natürlichen Rohstoffen und den steigenden CO<sub>2</sub>-Emissionen, welche die Menschheit in eine existenzbedrohende Klimakrise manövrieren. Es liegt an uns Menschen diese Probleme zu lösen. Wir, Wirtschaftsingenieurinnen und Wirtschaftsingenieure, können unseren Beitrag leisten, indem unser Handeln auf den Werten der Nachhaltigkeit gründet. Dieses setzt sich aus einer ausgewogenen Symbiose von ökologischem, sozialem und wirtschaftlichen Nutzen zusammen.

Einen Ansatz zur Lösung liefern wir mit der Unterstützung von Produktionsunternehmen bei der Transformation von linearem Wirtschaften hin zu einer Kreislaufwirtschaft. Diese ist ein regeneratives Wirtschaftssystem und entkoppelt die Wirtschaftstätigkeit vom Ressourcenverbrauch. Es gibt unterschiedliche Strategien für die Umsetzung von Kreislaufwirtschaft. Eine dieser Möglichkeiten heißt Remanufacturing.

In dieser Diplomarbeit wird ein ganzheitliches Vorgehensmodell entwickelt, welches Unternehmen bei der Einführung von Remanufacturing-Prozessen unterstützt. Das Resultat ist eine einfach anwendbare Methode für Produktionsunternehmen. Der Implementierungsprozess des Vorgehensmodells findet, nach einer logischen Abfolge, Schritt für Schritt statt. Dabei deckt das Tool die für Remanufacturing kritischen Bereiche, also Produkt, Produktionssystem, Kunden, Geschäftsmodell sowie ökologische, wirtschaftliche und soziale Auswirkungen ab. Die zielgerichtete Applikation, des sechs Schritte umfassenden Vorgehensmodell, basiert auf, in der Industrie geschätzten Methoden und Tools. Ein Auszug der angesprochenen Tools lautet: PDCA-Zyklus, Wertstromanalyse, Life Cycle Assessment, Bewertungsmatrizen, Business Model Canvas und Profitmargenrechnung.

Die Wirksamkeit des Vorgehensmodells wird anhand des, von der Firma Agilox, entwickelten Produktes, dem Agilox One, evaluiert. Dabei handelt es sich um ein intelligentes, fahrerloses Transportsystem. Mit dem entwickelten Vorgehensmodell ist, Schritt für Schritt, der Implementierungsprozess von Remanufacturing geplant worden. Das Vorgehensmodell liefert für das Unternehmen Agilox einen detaillierten Plan, wie es Remanufacturing für den Agilox One einführen kann und welche konkreten Adaptierungen notwendig sind. Zusätzlich ergibt sich die genaue Kenntnis, welche positiven Auswirkungen Remanufacturing, in den Bereichen Ökologie, Wirtschaftlichkeit und Soziales, auf das Produktionsunternehmen hat.

## Abstract

Our planet has a finite number of natural resources. The consumption of these has steadily increased in recent centuries. The consumption of natural raw material is closely correlated with increasing CO<sub>2</sub> emissions, which are maneuvering humanity in a climate crisis that threatens our very existence. It is up to us humans to solve these problems. We, industrial engineers, can make our contribution by basing our actions on the values of sustainability. This consists of a balanced symbiosis of ecological, social, and economic benefits.

We provide parts of the solution by supporting production companies in the transformation from linear economy to circular economy. This is a regenerative economic system and decouples economic activities from resource consumption. There are different strategies for the implementation of circular economy. One of these possibilities is called remanufacturing.

In this diploma thesis, a holistic procedure model is developed, which supports companies during the introduction of remanufacturing processes. The result is an easy-to-use method for manufacturing companies. The implementation process of this model takes place step by step according to a logical sequence. The tool covers the critical areas for remanufacturing like product, production system, customer, business model as well as ecological, economic, and social impacts. The systematic application of the six-step process model is based on methods and tools that are well known in the industry. An excerpt of the tools mentioned is: PDCA cycle, value stream analysis, life cycle assessment, evaluation matrices, business model canvas and profit margin calculation.

The effectiveness of the procedure model is evaluated by using the product Agilox One which is developed and produced by Agilox. The product is an intelligent Automated Guided Vehicle. The implementation process of remanufacturing was planned step by step following the developed framework. The procedure model provides Agilox a precise plan of how to introduce remanufacturing for the Agilox One and what specific actions are required. In addition, specific knowledge of the positive effects from remanufacturing for the production company, in the areas of ecology, economy and social impact, are presented.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Ausgangssituation .....	1
1.2	Motivation .....	3
1.3	Methodisches Vorgehen.....	4
2	Theoretische Grundlagen .....	7
2.1	Ressourcenverbrauch und Nachhaltigkeit.....	7
2.1.1	Ressourcenverbrauch.....	7
2.1.2	Nachhaltigkeit in der Produktion .....	10
2.1.3	Lösungen für geringeren Ressourcenverbrauch .....	12
2.2	Kreislaufwirtschaft .....	14
2.3	Remanufacturing .....	21
2.4	State of the Art “Vorgehensmodell zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen” .....	28
3	Forschungsbedarf, Ziel, Abgrenzung, Anforderungen .....	44
3.1	Forschungsbedarf / Problemstellung.....	44
3.2	Definieren des Zieles.....	45
3.3	Abgrenzung der Arbeit .....	47
3.4	Anforderungen an das Modell .....	50
4	Entwicklung des Vorgehensmodells .....	60
4.1	Konzeptionierung des Vorgehensmodells.....	60
4.2	Umsetzung des Vorgehensmodells.....	65
4.2.1	Schritt 1: Reifegrad des Produkts hinsichtlich Remanufacturing .....	68
4.2.2	Schritt 2: Reifegrad des Produktionssystems hinsichtlich Remanufacturing.....	73
4.2.3	Schritt 3: Kundennachfrage und Akzeptanz beim Kunden .....	76
4.2.4	Schritt 4: Reifegrad des Geschäftsmodells hinsichtlich Remanufacturing .....	80
4.2.5	Schritt 5: Analyse und Bewertung ökologischer Auswirkungen.....	85
4.2.6	Schritt 6: Analyse und Bewertung sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen .....	87
4.3	Zusammenfassung und kritische Reflexion.....	89

---

5	Demonstration des Vorgehensmodells .....	90
5.1	Anwendung am Beispiel des Agilox One .....	91
5.1.1	Beschreibung des Anwendungsfalles .....	91
5.1.2	Demonstration für den Anwendungsfall .....	92
5.2	Evaluierung und kritische Reflexion .....	101
6	Zusammenfassung und Ausblick .....	105
6.1	Zusammenfassung .....	105
6.2	Diskussion der Ergebnisse .....	106
6.3	Ausblick .....	107
7	Literaturverzeichnis .....	109
8	Abbildungsverzeichnis .....	118
9	Tabellenverzeichnis .....	120
10	Abkürzungsverzeichnis .....	121

# 1 Einleitung

Wir leben auf einem Planeten mit endlichen natürlichen Ressourcen. Dieser Fakt wirft ein Paradoxon auf zwischen den Wirtschaftswissenschaften, welche ständiges Wachstum propagieren und der naturwissenschaftlichen Wirklichkeit. Es liegt an uns allen, dieses Paradoxon gemeinsam zu lösen und die entsprechenden Schritte zu setzen. Die Bewältigung dieser Herausforderung zieht sich durch viele Schichten, hier ein paar Beispiele: Entwicklung des Lebensstandards entkoppelt vom natürlichen Ressourcenverbrauch, Revolution unseres Wirtschaftssystems, Radikale Umgestaltung unserer Güterproduktion, Transformation der weltweiten Energieproduktion, Lösen der Klimakrise, Bewältigung von globalen Konflikten, getrieben durch Sicherung von Ressourcen

Diese Arbeit schneidet einige dieser Themen in den theoretischen Grundlagen an. Der Fokus liegt dabei auf der Transformation von linearem Wirtschaften hin zur Kreislaufwirtschaft. Was Kreislaufwirtschaft (Circular Economy) genau bedeutet beschreibt diese Publikation im Detail. Im Speziellen kommt es zur Behandlung des Themas Remanufacturing, welches einen spezifischen Bereich der Kreislaufwirtschaft darstellt. Es folgt eine detaillierte Beschreibung vom Remanufacturing-Prozess. Im Zuge dieser Diplomarbeit wird ein Vorgehensmodell entwickelt, welches Produktionsunternehmen dabei begleitet Remanufacturing-Prozesse in der Firma einzuführen. Die Arbeit beschreibt, wie das erwähnte Vorgehensmodell zustande kommt und die Anwendbarkeit des Vorgehensmodells wird, am Beispiel eines Unternehmens das fahrerlose Transportsysteme produziert, validiert.

## 1.1 Ausgangssituation

Die Menschheit steht an einem Scheidepunkt und hat eine essenzielle Krise zu bewältigen (IPCC, 2022, S. 2564). Die entsprechende Bewältigung entscheidet darüber, ob die Menschheit weiter existiert oder wir die Lebensgrundlagen auf dem Planeten Erde komplett zerstören. Im Mittelpunkt dieser Krise steht die Weiterentwicklung der globalen Lebensstandards, welcher für die Menschen Positives bewirkt hat. Dieser Fortschritt und der dadurch getriebene Konsum, hat jedoch seinen Preis. Diese Entwicklung zerstört unsere Umwelt – unsere Lebensgrundlage – durch ein perverses Ausmaß an Abbau und Verbrauch natürlicher Ressourcen. Im Durchschnitt konsumieren die Länder dieser Erde ein 1,75-faches (Bocksch, 2022) der uns jährlich zur Verfügung stehenden natürlichen Ressourcen, wobei die westlichen Industrienationen hier wesentliche Treiber sind (siehe Abbildung 1).



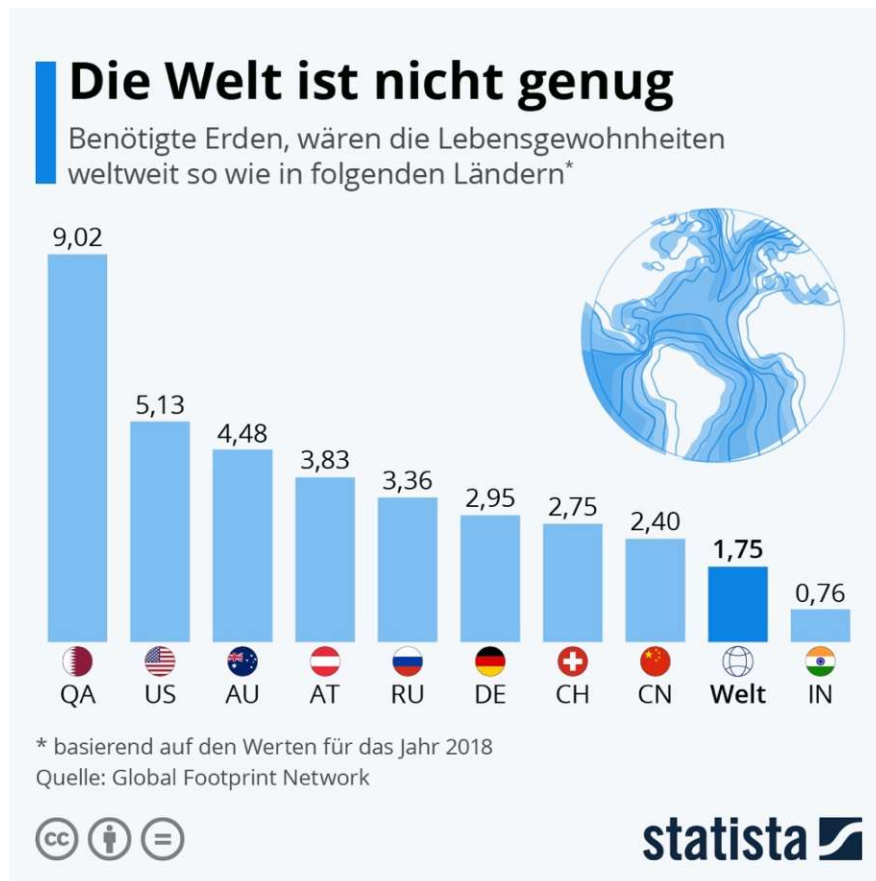


Abbildung 1: Benötigte Erden (Bocksch, 2022)

Es gilt Lösungen für diese negativen ökologischen und daraus resultierende, negative soziale Auswirkungen vorzustellen. Ein Teil dieser Lösung ist die Transformation der Prozesse wie Produkte hergestellt werden. Der Fokus dieser Arbeit liegt dabei auf der Vorstellung eines Vorgehensmodell, welches Produktionsunternehmen dabei hilft, ressourceneffiziente Produkte, Geschäftsmodelle, Produktionsprozesse und Logistik zu etablieren. All diese erwähnten Bereiche stehen unter dem Deckmantel von Remanufacturing.

Remanufacturing ist ein Teil des Kreislaufwirtschaftsansatzes und definiert als Verwertung gebrauchter Produkte, einschließlich Sammlung, Reparatur, Demontage und Austausch verschlissener Komponenten, um Produkte wieder auf das Qualitätsniveau neu hergestellter Produkte zu bringen (Elodie et al., 2020, S. 169). Remanufacturing liefert einen wesentlichen Beitrag zu nachhaltiger Produktion, welche weniger Ressourcen beansprucht und zu weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen führt. Remanufacturing bringt Materialeinsparungen von bis zu 98% (Nasr & Russel, 2018, S.140), sowie einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen von bis zu 79%, im Vergleich zu neu produzierten Produkten (APRA Europe et al., 2019, S. 5).

Es gibt in der wissenschaftlichen Literatur wenige ganzheitliche Vorgehensmodelle, wie Remanufacturing in einem Unternehmen eingeführt wird (Kurilova-Palisaitiene, 2021, S. 92). Wissenschaftliche Publikationen beschäftigen sich hauptsächlich mit

einzelnen Prozessschritten im Remanufacturing beziehungsweise beleuchten den Remanufacturing-Prozess an sich, gehen jedoch nur am Rande darauf ein, wie Unternehmen diesen konkret einführen könnten. Zusätzlich gibt es ausführliche Literatur, wie in verschiedenen Remanufacturing-Prozessschritten Entscheidungen getroffen werden. Diese Arbeiten beschäftigen sich jedoch nur spärlich damit, wie die gefundene Entscheidung das Vorgehensmodell zur Implementierung von Remanufacturing im Unternehmen beeinflusst.

## 1.2 Motivation

Es gilt hohen Optimismus zu bewahren und sich der Bewältigung der in der Einleitung und Kapitel 1.1 erwähnten Herausforderungen zu widmen. Bei der Erhöhung des Lebensstandards lag, in den letzten Jahren und vor allem in der westlichen Welt, der Fokus auf materiellem Konsum. Dieser materielle Konsum wird stark getrieben durch exzessives Marketing, um den Menschen einzureden, welche Produkte sie alle brauchen, um ein gutes Leben zu führen (Leonard & Conrad, 2011). Aus Unternehmenssicht ergibt diese Strategie Sinn, da in den meisten Unternehmen das Geschäftsmodell darauf beruht immer mehr Produkte zu verkaufen und stetig zu wachsen. Aus ökologischer Sicht ist das eine Katastrophe und wenn wir hier nicht abrupt einen Paradigmenwechsel einleiten, beraubt sich die Menschheit ihrer Lebensgrundlage. Auf der einen Seite gilt es unser Wachstum nachhaltig zu gestalten und die direkte Korrelation von Wachstum und Ressourcenverbrauch sowie Treibhausgasemissionen abzukoppeln. Auf der anderen Seite heißt es sich Gedanken zu machen, wie wir unseren Lebensstandard definieren. Die derzeitige Definition über materielle Wirtschaftsleistung, konkret Bruttoinlandsprodukt, scheint nicht mehr zeitgemäß zu sein (United Nations Environment Programme, 2022). Mit gutem Beispiel geht hier Neuseeland voran. Hier werden Budgets im öffentlichen Haushalt nicht klassisch vergeben, nach dem Kriterium: „Was hat den größten Effekt auf das Bruttoinlandsprodukt“, sondern auch andere Indikatoren berücksichtigt. Diese Faktoren umfassen Mentale Gesundheit, Kindeswohl, Unterstützung von Minderheiten, Produktivität (ist nur ein Indikator des Bruttoinlandsprodukts) und Transformation der Wirtschaft (New Zealand Government, 2019).

Ein möglicher Weg in Richtung nachhaltiger Wirtschaft ist der Fokus auf Kreislaufwirtschaft, welche versucht natürliche Ressourcen möglichst lange im wirtschaftlichen Kreislauf zu halten und möglichst wenig zusätzliche natürliche Ressourcen zu extrahieren. Dieses Denken gilt es in unserer Gesellschaft zu verankern, Aufklärung zu leisten, mit gutem Beispiel voranzugehen, aus Bildungseinrichtungen heraus diesen Wandel zu gestalten sowie Unternehmer, Manager, Politiker, Investoren und andere Entscheidungsträger mit vollem Einsatz ins Boot zu holen. Die Motivation besteht darin mit dieser Arbeit einen kleinen Beitrag zu dieser Transformation zu liefern. Es gilt Unternehmern und Managern Wege zu

nachhaltigem Wirtschaften auf allen Ebenen aufzuzeigen. Ihnen werden Methoden und Tools bereitgestellt, welche unterstützend für den Wandel zur Seite stehen.

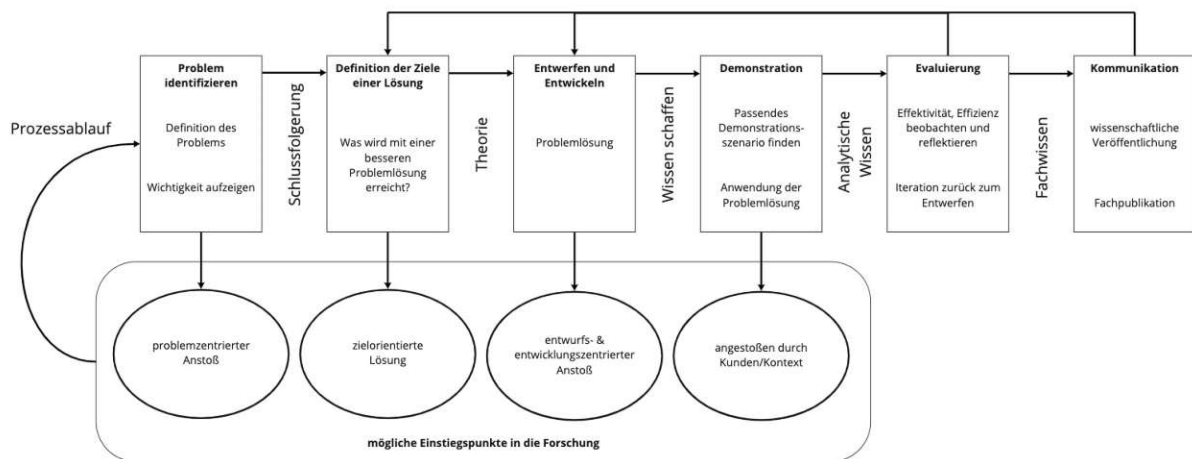
***Be the change what you wish to see in the world***

(Gandhi, 1965, S. 158)

### 1.3 Methodisches Vorgehen

Im Bereich der Informationssysteme existieren zwei Paradigmen, die einen Großteil der Forschung abdecken: Verhaltenswissenschaft und Gestaltungswissenschaft (Design Science). Das verhaltenswissenschaftliche Paradigma trachtet nach der Entwicklung und Verifizierung von Theorien, die menschliches oder organisatorisches Verhalten erklären oder vorhersagen. Das Design Science Paradigma erweitert die Grenzen menschlicher und organisatorischer Fähigkeiten, indem es neue und innovative Werke schafft (Hevner et al., 2004, S. 75). Diese Arbeit widmet sich der gestaltungswissenschaftlichen Forschung, da ein neues und innovatives Vorgehensmodell zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen geschaffen wird. Aus dem erwähnten Grund kommt Design Science zur Anwendung. Der strukturierte Design Science Problemlösungsansatz hilft beim effizienten und effektiven Analysieren, Entwerfen, Implementieren und Nutzen von Informationssystemen (Hevner et al., 2004, S. 75 - 76). In ihrer wissenschaftlichen Arbeit die den Titel A Design Science Research Methodology (DSRM) for Information Systems Research trägt, etablieren Peffers et al. (2007) ein Prozessmodell für die gestaltungswissenschaftlichen Forschung. In einem Prozessmodell mit 6 Schritten wird der Design Science Research Methode Prozess abgebildet. Bei den erwähnten Schritten handelt es sich um:

1. Problem identifizieren: Definition eines spezifischen Forschungsproblems und den Wert zur Lösung dieses Problems aufzeigen.
2. Definition der Ziele einer Lösung: Aus der Problemstellung und wissenschaftlicher Publikation leiten sich die machbaren Ziele für eine Lösung ab.
3. Entwerfen und Entwickeln: Erstellen der Problemlösung unter Berücksichtigung der Ziele.
4. Demonstration: Anwendung der Problemlösung anhand eines Experimentes, einer Simulation, einer Fallstudie, eines Nachweises oder einer anderen angemessenen Aktivität.
5. Evaluierung des Modells: Kritische Reflexion, Beobachtung und/oder messen, wie effektiv und/oder effizient die Problemlösung ist.
6. Kommunikation: wissenschaftliche Veröffentlichung oder Fachpublikation (Peffers et al., 2007, S. 52 - 57).



**Abbildung 2: Design Science Research Methode (DSRM) Prozessmodell (Peppers et al., 2007, S. 54)**

Für die systematische Entwicklung des Vorgehensmodells zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen folgt diese Diplomarbeit dem in Abbildung 3 visualisierten Aufbau. Diese Arbeit umfasst zusätzlich zu diesem Kapitel 5 weitere Kapitel, welche sich zum Großteil aus den DSRM-Prozessschritten (siehe Abbildung 2) ergeben. Den Anfang macht Kapitel 2, das die theoretischen Grundlagen präsentiert und somit als Basis für die Identifikation des Problems dient. Dabei wird auf Themen wie Ressourcenverbrauch, Klimakrise, CO<sub>2</sub>-Ziele, Kreislaufwirtschaft sowie Remanufacturing eingegangen. Das Herzstück der theoretischen Grundlagen bildet eine systematische Literaturrecherche, um den Stand der Technik von Vorgehensmodellen zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen zu durchleuchten. Aus dieser ermittelt sich das Problem, für welches diese Arbeit eine Lösung präsentiert.

Kapitel 3 beschäftigt sich mit dem Forschungsbedarf, Ziel, Abgrenzung und Anforderungen. Kapitel 3.1 erörtert den Forschungsbedarf und geht im Detail auf die Problemidentifikation ein und schließt somit den 1. Schritt des DSRM-Modells ab. Für die Definition des Zieles und somit Bewältigung von Schritt 2 nach DSRM ist Kapitel 3.2 verantwortlich.

Der DSRM-Schritt Entwerfen und Entwickeln findet seine Durchführung in Kapitel 4 Entwicklung des Vorgehensmodells. Der strukturierte Entwurfs- und Entwicklungsvorgang umfasst die Konzeptionierung des Vorgehensmodells, die Umsetzung des Vorgehensmodells, sowie deren Zusammenfassung und kritische Reflexion.

Kapitel 5 erläutert die Demonstration des unter Kapitel 4 entwickelten Vorgehensmodells, anhand eines Praxisbeispiels. Als Grundlage des Demonstrationsbeispiels dient ein innovatives Unternehmen, das fahrerlose Transportsysteme entwickelt und produziert. Die Durchführung der Demonstration

definiert sich als Schritt 4 im DSRM-Modell. Schritt 5, Evaluierung, dieses Modells wird in Kapitel 5.2 Zusammenfassung der Demonstration und kritische Reflexion abgedeckt.

Schritt 6 aus dem Design Science Research Methode Prozess schließt durch die Fertigstellung und somit Publikation dieser Diplomarbeit ab.

Die Zusammenfassung des Vorgehensmodells und die Diskussion der erreichten Ergebnisse findet sich im abschließenden Kapitel 6. In diesem Kapitel erfolgen ein Ausblick und Anregungen, welche weiteren Themen, in Bezug auf die Einführung von Remanufacturing, relevantes Untersuchungspotential aufweisen.

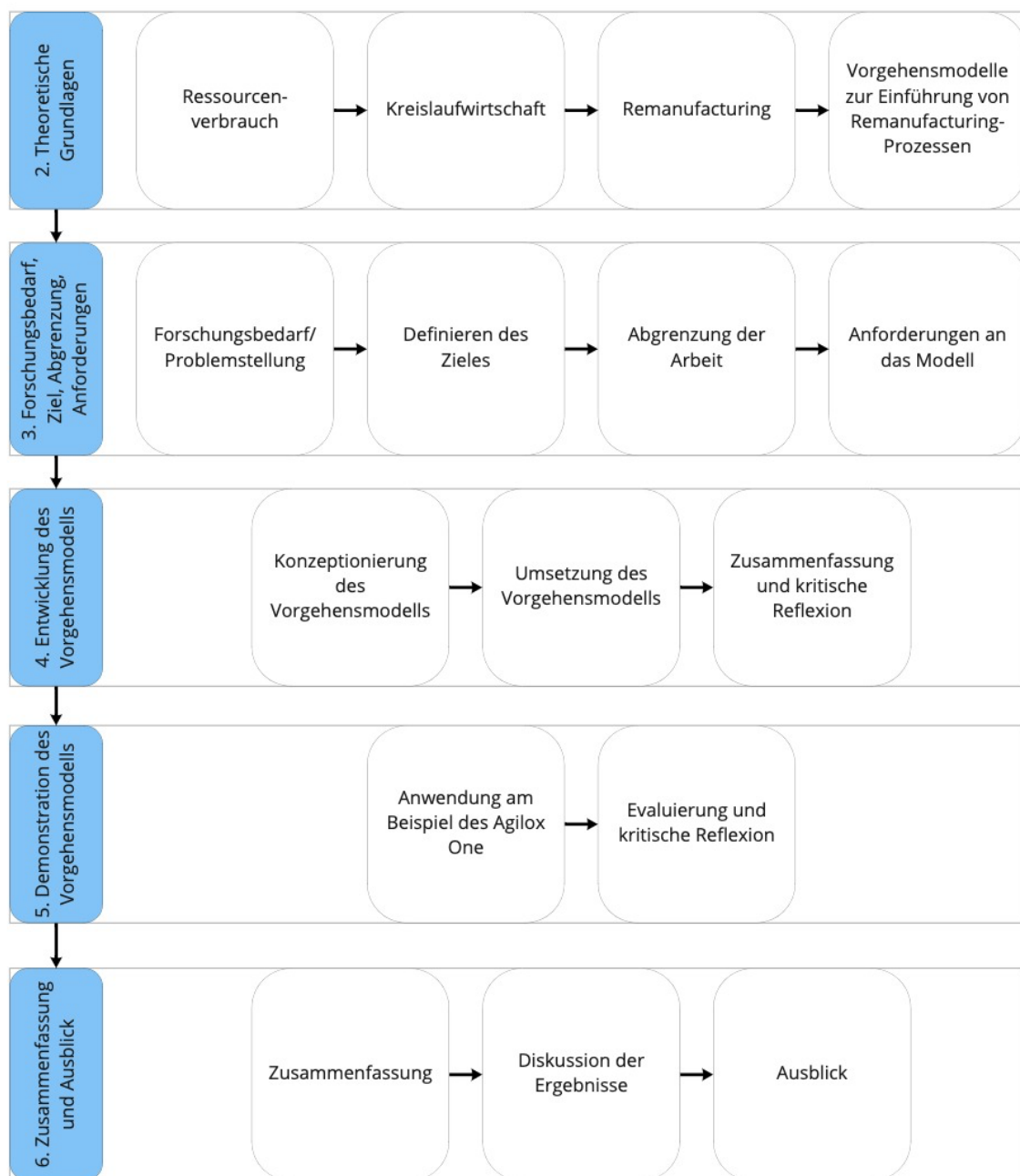


Abbildung 3: Aufbau der Arbeit

## 2 Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit den theoretischen Grundlagen für diese Diplomarbeit. Kapitel 2.1 geht auf den Verbrauch von natürlichen Ressourcen ein beziehungsweise welche Gefahren dieser mit sich bringt. Weiters wird die Bedeutung der Nachhaltigkeit in der Produktion von Gütern betrachtet. Zudem folgt eine Erörterung, welche Lösungen es zur Optimierung des Ressourcenverbrauchs gibt und welche Rolle dabei Kreislaufwirtschaft spielt.

Kapitel 2.2 gibt einen Überblick, über das Thema Kreislaufwirtschaft und den möglichen positiven Effekten durch die gezielte Anwendung. Der Begriff Kreislaufwirtschaft weist eine hohe Relevanz für Wirtschaftsingenieurinnen/ Wirtschaftsingenieure und ihr Handeln in der Zukunft auf.

Kern dieser Arbeit ist das Thema Remanufacturing, da es sich als Teil der Kreislaufwirtschaft herauskristallisiert. Kapitel 2.3 stellt den Bereich Remanufacturing vor und geht dabei auf Umsetzungsdetails ein.

Das Ergebnis dieser Diplomarbeit definiert die Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen in einem Unternehmen, das fahrerlose Transportsysteme produziert. In Kapitel 2.4 findet der Vollzug einer systematischen Literaturrecherche statt, welche einen Überblick zum aktuellen Stand der Forschung über „Vorgehensmodelle zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen“ liefert.

### 2.1 Ressourcenverbrauch und Nachhaltigkeit

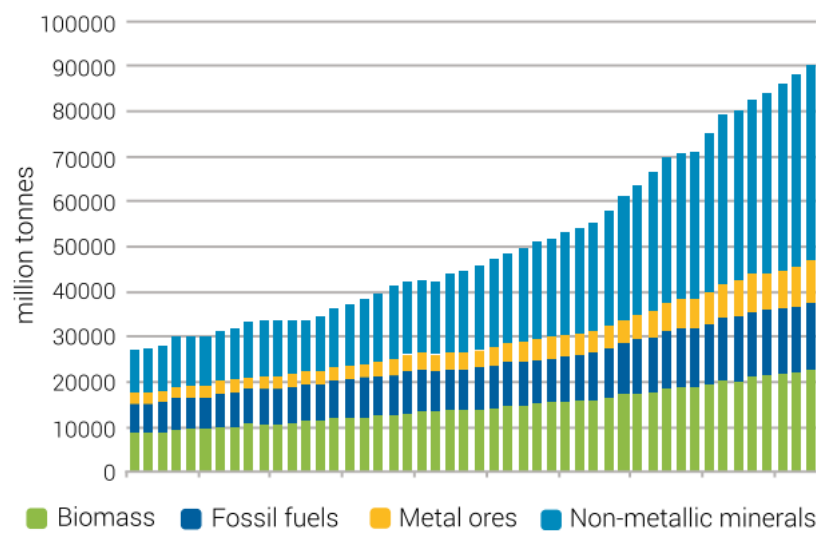
#### 2.1.1 Ressourcenverbrauch

Die Art und Weise, wie Gesellschaften natürliche Ressourcen nutzen und pflegen, prägt grundlegend das Wohlergehen von Menschen, Umwelt und Wirtschaft. Natürliche Ressourcen – das heißt Pflanzen und Materialien auf pflanzlicher Basis, Metallerze, Mineralien, fossile Energieträger, Land und Wasser – sind die grundlegenden Inputs für Waren, Dienstleistungen und Infrastruktur sozioökonomischer Systeme von der lokalen bis zur globalen Ebene. Die Wiederherstellung und Aufrechterhaltung der Gesundheit der natürlichen Ressourcenbasis ist eine notwendige Voraussetzung, um das Wohlergehen für heutige und zukünftige Generationen zu bewahren (Bringezu et al., 2017, S.9).

Das starke Wachstum bei der Gewinnung natürlicher Ressourcen aus Biomasse, fossilen Brennstoffen, Metallerzen und nichtmetallischen Mineralien unterstützt zwar die Weltwirtschaft, trägt aber auch zu globalen Umweltbelastungen und Umweltauswirkungen bei. Die weltweite Materialnachfrage wird zunehmend von

Regionen mit niedrigem und mittlerem Einkommen gedeckt, was auf eine Auslagerung lokaler Auswirkungen der Ressourcengewinnung hindeutet – oft um Primärexporte in Länder mit hohem Einkommen zu produzieren (Bringezu et al., 2017, S.28).

Im Zeitraum von 1970 bis 2010 ist die jährliche weltweite Nutzung von Materialien von 26,7 Milliarden Tonnen auf 75,6 Milliarden Tonnen gewachsen (siehe Abbildung 4). Die letzten drei Jahrzehnte des 20. Jahrhunderts haben ein Jahresdurchschnittswachstum des weltweiten Materialverbrauchs um 2,3 Prozent gesehen. Im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts hat sich der Zuwachs auf 3,5 Prozent beschleunigt. Im Jahr 2017 erreicht die globale Materialnutzung 88,6 Milliarden Tonnen, mehr als das Dreifache der 1970 beobachteten Menge. Dies ist signifikant, auch wenn alles andere gleichbleibt, deutet die wachsende Materialextaktion auf steigende Umweltbelastungen und Umweltauswirkungen am Globus hin. Die Beherrschung des gesamten physischen Einflusses der Wirtschaft ist daher ein wichtiger, erster Schritt. Dazu zählen die Reduktion von Abfall und Emissionen, sowie die signifikante Minderung der gesamten Umweltauswirkungen (Bringezu et al., 2017, S.28).



**Abbildung 4: Globale Ressourcenextraktion in vier Hauptmaterialkategorien 1970 bis 2017 (Bringezu et al., 2017, S.29)**

Die Materialnachfrage hat sich weiter von Biomasse und erneuerbaren Materialien zu nicht erneuerbaren Materialien verlagert, was neue Abfallströme geschaffen und zu höheren Emissionen und Umweltverschmutzung beigetragen hat. Der globale Trend weg von traditionellen hin zu modernen Technologien und von agrarbasierter Wirtschaft hin zu urbanen und industriellen Ökonomien (und deren schnell wachsenden neuen Materialanforderungen) beschleunigt die globale Materialnutzung weiter und stellt die Nachhaltigkeitspolitik vor erhebliche Herausforderungen (Steinberger et al., 2010).

Mehr als die Hälfte der Ressourcenverbrauchs wird von nicht einmal einem Zehntel der Weltbevölkerung generiert, den frühindustrialisierten Ländern. Bevölkerungswachstum, gepaart mit der Forderung nach besseren Lebensstandards in Entwicklungsländern und Schwellenländern, erhöht den Ressourcenverbrauch noch weiter. Ein verantwortungsvoller Entwicklungspfad ist wesentlich für die Erhaltung von Ressourcen, um die Bedürfnisse zukünftiger Generationen zu erfüllen. Abbildung 5 zeigt den Zusammenhang zwischen Lebensstandard und Ressourcenverbrauch, sowie ökologische Grenzwerte für Entwicklungsländer, Schwellenländer und frühindustrialisierte Länder (Seliger, 2010).

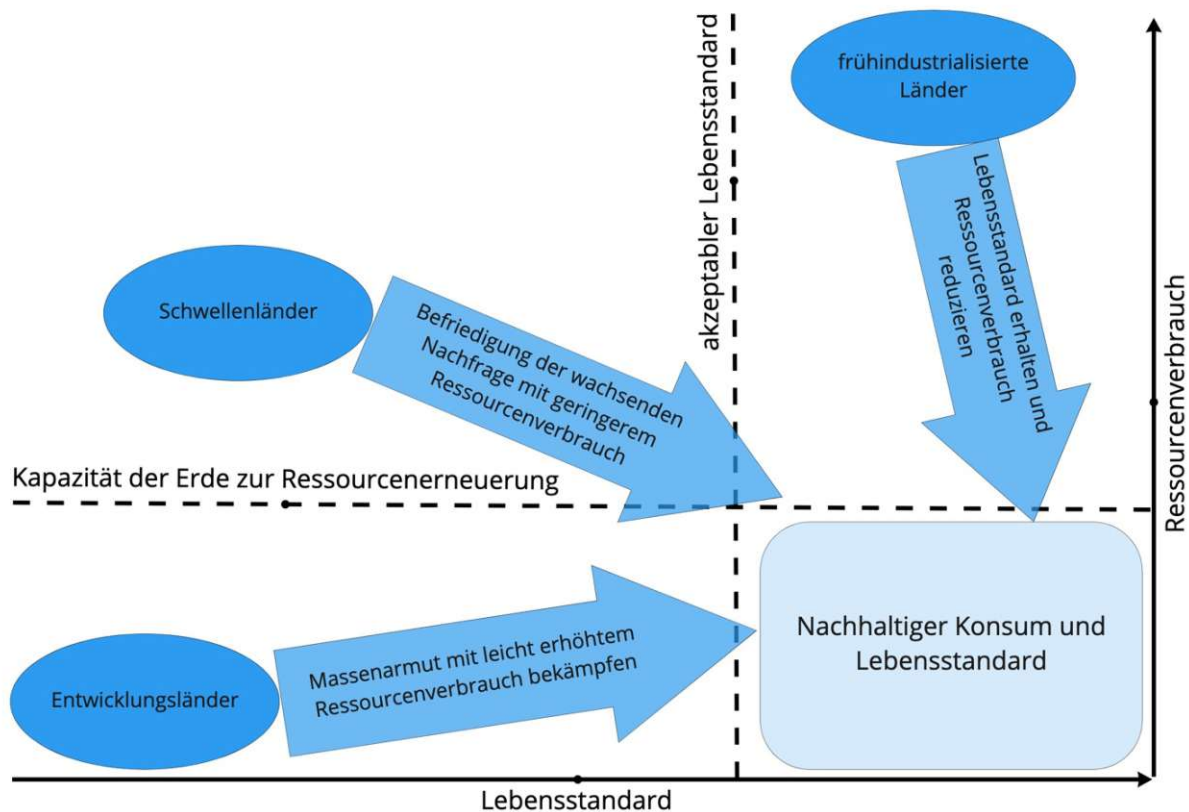


Abbildung 5: Zusammenhang Lebensstandard und Ressourcenverbrauch (Seliger, 2010)



## 2.1.2 Nachhaltigkeit in der Produktion

Ein traditionelles Paradigma für produzierende Unternehmen ist, dass der Verkauf einer maximalen Anzahl von Produkten in einem bestimmten Markt notwendig ist, um eine Wettbewerbsposition zu erhalten. Sobald Produkte verkauft sind, stehen sie nicht mehr im Fokus des Herstellers, der sich dann auf Strategien zur Steigerung zukünftiger Verkäufe konzentrieren kann. Parallel dazu werden Marketingstrategien entwickelt, um den mittel- und langfristigen Absatzaufbau über mehrere Medien sicherzustellen. Dadurch werden Verbraucher dazu erzogen, ihre Aufmerksamkeit ausschließlich auf die Konsumphase eines Produkts zu richten und von den Bedingungen abgelenkt, unter denen ein Produkt entwickelt, hergestellt, vertrieben und entsorgt wird (Leonard & Conrad, 2011). Da natürliche Ressourcen unter ihrem wahren Wert verkauft werden und die Entsorgung alter Produkte von öffentlichen Behörden verwaltet wird, maximiert der traditionelle Produzent seine Gewinne durch einen linearen „Take-Make-Dispose“-Prozess in einem immer schneller werdenden Tempo (Lovins et al., 1999; Leonard & Conrad, 2011; MacArthur, 2014; Seliger, 2010). Die Universität der Vereinten Nationen hat festgestellt, dass im Jahr 2014 von weltweit 41,8 Millionen Tonnen Elektroschrott, welcher einen Wert von 52 Milliarden US-Dollar an potenziell wiederverwendbaren Ressourcen darstellt, lediglich 6,5 Millionen Tonnen von offiziellen Rücknahmesystemen gesammelt worden sind. Die verbleibenden 84,6% landen in inoffiziellen oder illegalen Systemen. Es wird geschätzt, dass 5 bis 10% des Elektroschrotts ohne staatliche Kontrolle aus Europa in afrikanische, asiatische und südamerikanische Länder exportiert werden (Balde, 2015). Die daraus resultierende toxische Verschmutzung durch unkontrollierte Abfallentsorgung und Materialrückgewinnungsprozesse schädigt die Gesundheit und Umwelt der lokalen Gemeinschaften (Williams, 2008).

Der Begriff Nachhaltigkeit ist weit verbreitet, jedoch unterschätzen viele die Komplexität dieses Begriffes und daher kommt es oft zur falschen Verwendung. Die modernste Definition von Nachhaltigkeit ist 1987 von der Brundtland-Kommission bereitgestellt worden, diese lautet wie folgt: „Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart erfüllt, ohne die Fähigkeit künftiger Generationen zu beeinträchtigen, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen“ (Brundtland, 1987). Diese Definition kommt weitgefasst und lässt in der Umsetzung in Produktionsunternehmen viele Fragen offen. Aus dem erwähnten Grund bedarf es einer Festlegung, welche die Handlungsbereiche genauer aufzeigt. In der Literatur existiert eine Interpretation von Nachhaltigkeit, welche auf den drei Säulen ökologische, soziale und wirtschaftliche Nachhaltigkeit beruht (Elkington, 1994). Die skizzierten Handlungsbereiche und deren Überschneidungen stellt Abbildung 6 spezifiziert dar.

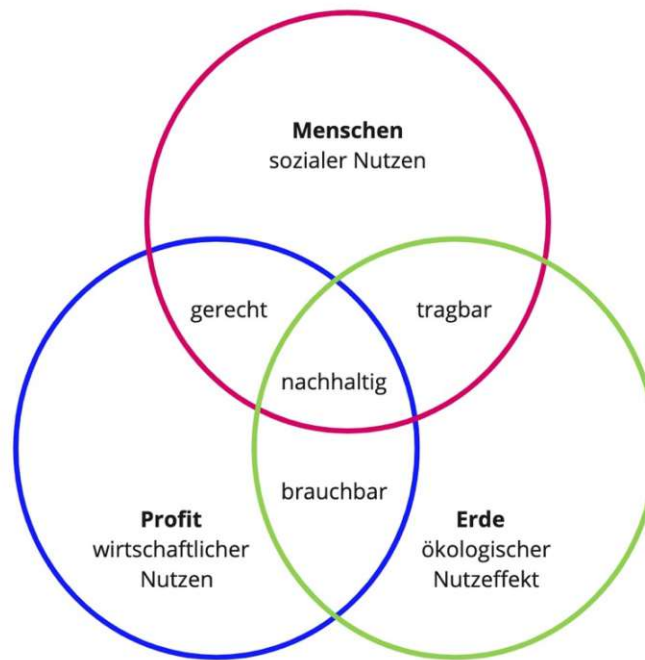


Abbildung 6: 3-Säulen der Nachhaltigkeit (Elkington, 1997)

Traditionelle ökonomische Messgrößen wie Gewinn, Kapitalrendite und Unternehmenswert werden durch Umwelt- und Sozialmaßnahmen in den Nachhaltigkeitsberichten der Unternehmen ergänzt. Die Debatte um die Suche nach gemeinsamen Metriken für den Vergleich von wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Faktoren bleibt offen. Im Zusammenspiel dieser Bereiche existiert noch kein allgemein akzeptierter Messstandard, daher passen Organisationen Metriken an ihre eigenen Bedürfnisse an (Slaper & Hall, 2011).

Elkington trug wesentlich zur Nachhaltigkeit bei, indem er Richtlinien und Musterlösungen entwarf und Unternehmen mit Erfolgsgeschichten inspirierte, um für die Organisation eine Revolution hin zu besseren Praktiken zu finden. Unternehmen sollen weiche Unternehmenswerte adaptieren, Stakeholder-inklusive Governance und offen transparente Richtlinien einführen, um sich in globalisierten Märkten mit hohem Standard zu differenzieren. Ihre Entscheidungen sollten flexibel, aber an einer langfristigen Vision orientiert sein, und Partnerschaften sollten sich von Subversionen zu Symbiose entwickeln, um Koopetitionserfolge zu erreichen. In Bezug auf die Produktherstellung wird empfohlen, vom Produktverkauf zum Vertrieb von Funktionen zu wechseln, um Anreize für die Maximierung der Produktnutzung über den gesamten Lebenszyklus ihrer Produkte zu schaffen (Elkington, 1997). Der Übergang zu nachhaltiger Produktion verlangt einen systemischen Wandel, welcher einen Übergang zu einem verantwortungsvollen Kapitalismusmodell ermöglicht.

### 2.1.3 Lösungen für geringeren Ressourcenverbrauch

Gestaltung nachhaltiger Ressourcen: Den größten Einfluss auf die Nachhaltigkeit im Unternehmen haben die eingesetzten Ressourcen. Dies gilt besonders in ressourcenintensiven internen Wertschöpfungsprozessen wie der Produktion. Zur Umsetzung des Handlungsfelds können initial alle Ressourcen erfasst und bewertet werden. Bewertungskriterien können der Energiebedarf, die Lebensdauer oder die Schadstoffbelastung sein. Dabei gelten als Ressourcen vereinfachend die räumliche Infrastruktur, die Wertschöpfungsressourcen, wie z. B. Fertigungsmaschinen, sowie Verbrauchsmaterial, welches in den Wertschöpfungsprozessen eingesetzt wird. Neben der initialen Erfassung sollte ein kontinuierlicher Prozess etabliert werden, welcher den Mitarbeiter durch Transparenz und Anreiz involvieren sollte (Busch & Graberg, 2021, S. 206).

Die Materialproduktivität wird als wichtiges Merkmal der nachhaltigen Bewirtschaftung natürlicher Ressourcen angesehen, und doch ist die Menge an wirtschaftlichem Wert, die wir aus jedem Kilogramm Material und jedem Megajoule (MJ) Energie gewonnen haben seit etwa dem Jahr 2000 rückläufig oder stagnierend (Schandl & West, 2010). Diese Entwicklung stellt Abbildung 7 dar.

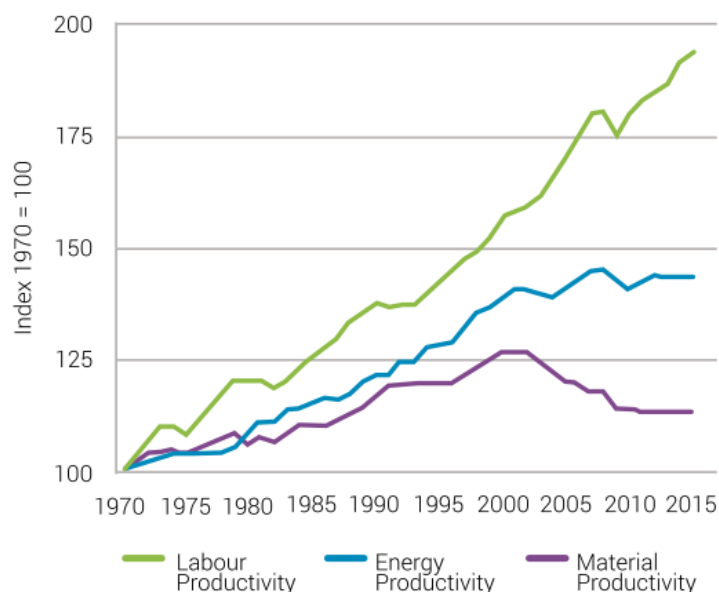


Abbildung 7: Global Material-, Arbeits- und Energieproduktivität (Bringezu et al., 2017, S.30)

In den letzten 45 Jahren hat sich der weltweite Durchschnitt der Arbeitsproduktivität – USD pro Arbeitsstunde – fast verdoppelt. Die Energieproduktivität – USD pro MJ – ist seit den Ölpreisschocks in den 1970er Jahren erheblich gestiegen (mit einer geringeren Rate als die Arbeitsproduktivität) und hat seit etwa 2000 ein Plateau erreicht. Dies wurde durch die Energiewende auf Grund der steilen Zunahme der Stromversorgung und des Kraftstoffverbrauchs für Verkehr und Mobilität in vielen Entwicklungsländern verursacht. Infolgedessen hat der Energieverbrauch begonnen,

schneller zu wachsen als das BIP. Verbesserungen der Materialproduktivität – USD pro kg – verzeichneten den langsamsten Fortschritt aller drei Produktivitätsfaktoren und begann seine Rückläufigkeit um das Jahr 2000. Eine sinkende Material- und Energieproduktivität ist wirtschaftlich schlecht – dies bedeutet eine Verringerung des potenziellen Wirtschaftswachstums – und auch negativ für die Umwelt, da Belastungen und Auswirkungen auf diese unverhältnismäßig schneller wachsen, als die Produktion von Waren und Dienstleistungen. Die Verbesserung der Material- und Energieeffizienz ist eine notwendige, aber nicht hinreichende Strategie, um ökologische Nachhaltigkeit zu erreichen. In der Vergangenheit wurden Arbeitsproduktivitätsgewinne vor dem Hintergrund sinkender Ressourcenproduktivität erzielt. Dies ist ein Effekt der Substitution zwischen Arbeit und Kapital, wobei letzteres auf Materialien angewiesen ist, um neues Kapital zu schaffen, und auf Energie, um es zu befeuern. Es bedarf eines neuen Wirtschaftsparadigmas, das die Ressourcenproduktivität verbessert und es ermöglicht, Produktions- und Verbrauchssysteme mit geringerem Material- und Energiebedarf sowie weniger Abfall und Emissionen zu betreiben. Dies würde eine Neuausrichtung von einem einzigen Ziel der Arbeitsproduktivität auf ein Multifaktor-Produktivitätsziel ermöglichen (Bringezu et al., 2017, S.29 - 30). Zusätzlich führt zirkuläres Wirtschaften mit Ressourcen zu einer wesentlichen Erhöhung der Ressourcenproduktivität.

Entkopplung von Ressourcenverbrauch und Steigerung vom Lebensstandard: Die Verbesserung des Wohlbefindens der Menschen bei gleichzeitiger Minimierung des Ressourcenverbrauchs und der Umweltauswirkungen, insbesondere durch verbesserte Ressourceneffizienz, ist ein wesentlicher Aspekt, um das Ziel zu verantwortungsvoller Produktion und verantwortungsvollem Konsum zu erreichen. Um eine solche Entkopplung zu erreichen, müssen die heutigen linearen Materialflüsse in der Wirtschaft durch intelligentes Produktdesign, welches Standardisierung, Wiederverwendung, Recycling/Wiederaufarbeitung, die Entwicklung effizienter und integrativer Infrastruktursysteme sowie Fokus auf die Bereitstellung von Dienstleistungen, anstelle von materiellen Produkten, umfasst, in einen Kreislauf umgewandelt werden. Ressourceneffizienz ist auch komplementär zu konventionellen Umweltschutzstrategien. Durch die Verringerung des Ressourcenverbrauchs können auch die damit verbundenen Emissionen und Auswirkungen reduziert werden und zwar viele davon gleichzeitig (Bringezu et al., 2017, S.9). Eine grafische Darstellung des Konzeptes der Entkopplung skizziert Abbildung 8.

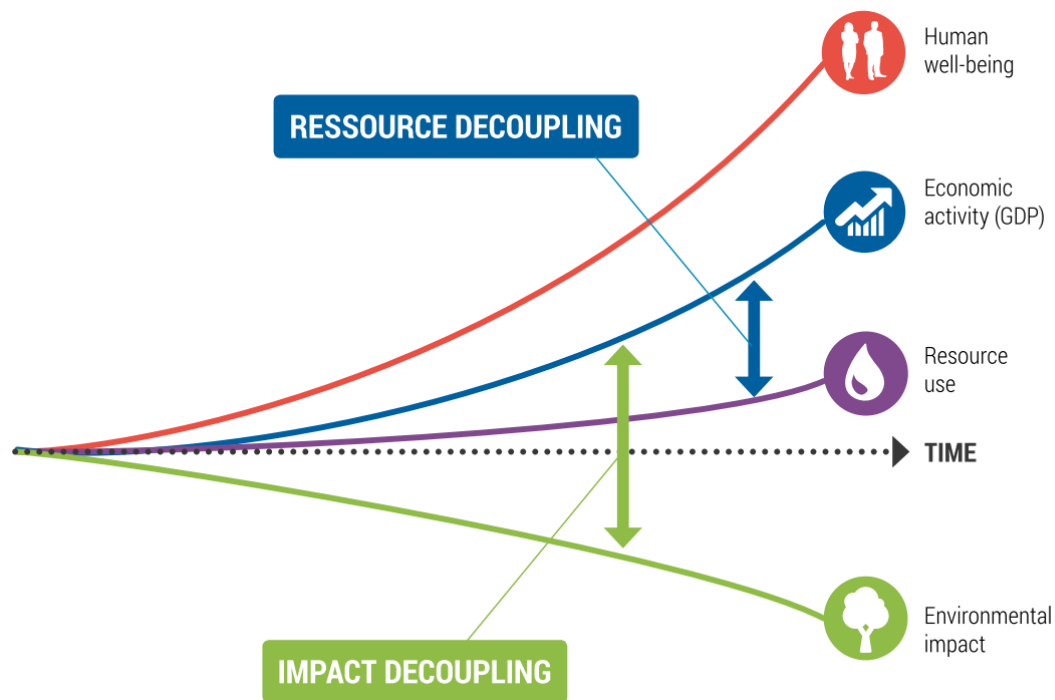


Abbildung 8: Konzept der Entkopplung (United Nations Environment Programme, 2011).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass all die erwähnten Vorschläge für einen geringeren Ressourcenverbrauch beim Thema Kreislaufwirtschaft landen. Was dieser Begriff genau bedeutet und was alles damit verbunden ist erläutert das folgende Kapitel 2.2.

## 2.2 Kreislaufwirtschaft

Aus den in Kapitel 2.1 skizzierten Gründen, schenken Organisationen, politische Entscheidungsträger und Unternehmen dem Thema Kreislaufwirtschaft immer mehr Aufmerksamkeit. Trotz dieser Tatsache überwiegt in der Wirtschaft und Gesellschaft aber weiterhin die lineare Denkweise „nehmen, benutzen, wegwerfen“ (MacArthur, 2014).

Bei der Kreislaufwirtschaft handelt es sich um ein regeneratives Wirtschaftssystem, in welchem der Ressourceneinsatz und die Abfallproduktion sowie die Emissionen und der Einsatz von Energie dadurch auf ein Minimum reduziert werden, indem Energie- und Materialkreisläufe verlangsamt, verringert und geschlossen werden (Geissdoerfer et al., 2017). Die Kreislaufwirtschaft spiegelt einen Ablauf wider, bei dem die Wirtschaftstätigkeit, im Gegensatz zum linearen Wirtschaftssystem, etappenweise von der Extraktion und dem Verbrauch endlicher Ressourcen entkoppelt wird (MacArthur, 2015). Die Abbildung 9 und die Abbildung 10 veranschaulichen den Unterschied zwischen linearer Wirtschaft und Kreislaufwirtschaft.

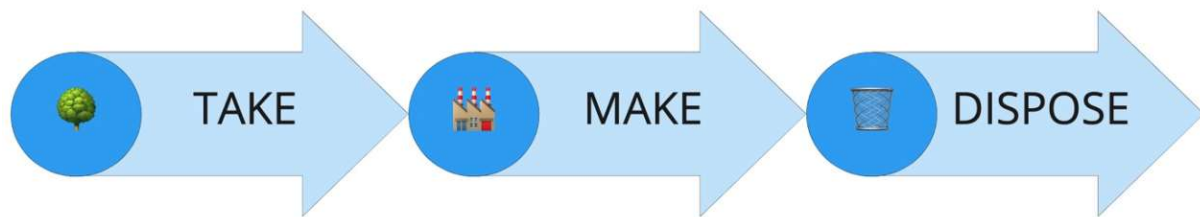


Abbildung 9: Modell der linearen Wirtschaft (Sphera, 2020)

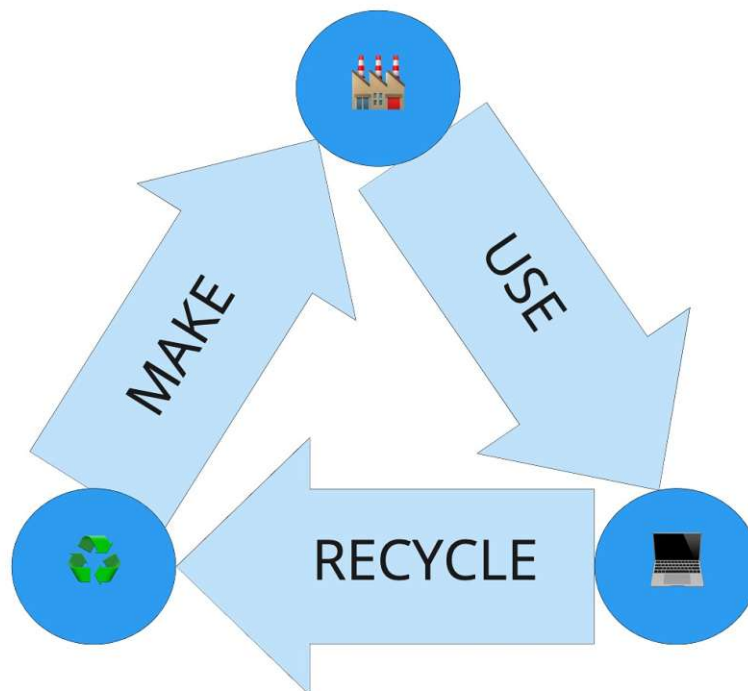


Abbildung 10: Modell der Kreislaufwirtschaft (Sphera, 2020)

In Organisationen und Firmen kann dies beispielsweise durch effizientere Arbeitsweisen und Prozesse, die Bereitstellung von zirkulären Produkten und Dienstleistungen oder die Neugestaltung ihres Geschäftsmodells und Wertversprechens gemäß den Prinzipien und Strategien der Kreislaufwirtschaft erreicht werden (British Standard Institution, 2017).

Für Unternehmen gibt es verschiedene Prinzipien und Strategien, um ihre Produkte zum Zwecke der Kreislaufwirtschaft zu kreieren, wie zum Beispiel eine möglichst langlebige Konstruktion, regelmäßige Instandhaltung, Reparatur anstatt Austausch, Wiederverwendung durch eine andere Nutzerin oder Nutzer, Remanufacturing, Refurbishing und Recycling von Produkten und Materialien (Potting et al., 2017). Die Taxonomie der R-Strategien ist eine gängige Klassifizierung von Denkweisen zur Förderung der Kreislaufwirtschaft. Dieses Vorgehen baut an den zehn R-Strategien von Potting et al. (2017) auf, welche Kreislaufwirtschafts-Strategien als Maßnahmen zur Verringerung des Verbrauchs von natürlichen Ressourcen und Material sowie zur

Minimierung der Abfallproduktion definieren. Die zehn R-Strategien sind in Abbildung 11 aufgelistet und beschrieben.

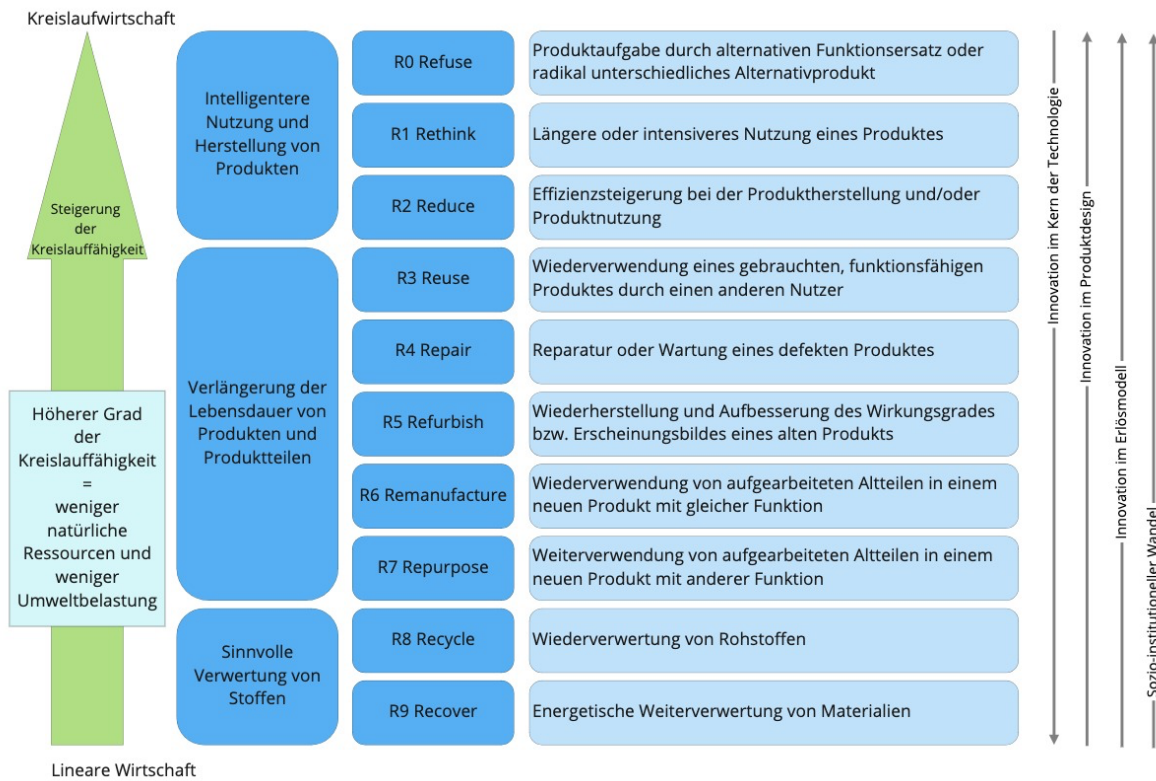


Abbildung 11: Darstellung der 10 R-Strategien (Potting et al., 2017)

Strategien mit höherer Kreislauffähigkeit bringen üblicherweise auch mehr Vorteile für die Umwelt mit sich. Dementsprechend gelten sie als klimafreundlicher und führen insgesamt zu einem niedrigeren Ressourcenbedarf. Dies kann sich jedoch in einzelnen Fällen auch anders darstellen, weshalb Einzelmaßnahmen mittels Bewertungsmethoden, wie zum Beispiel durch Lebenszyklusanalysen, auf deren Umweltauswirkungen geprüft werden sollten (Stiftung Familienunternehmen, 2021, S.5).

### Kreislaufwirtschaft Geschäftsmodelle

Zirkuläre Geschäftsmodelle, welche sich durch werterhaltende oder sogar wertintensivierende Maßnahmen auszeichnen, können einen Schlüssel bei der Transformation in eine Kreislaufwirtschaft darstellen. Dabei ist ein effizienter, konsistenter und suffizienter Umgang mit Ressourcen von expliziter Bedeutung. Um derartige Geschäftsmodelle neu zu entwickeln oder existierende Unternehmungen entsprechend anzupassen, ist es aufschlussreich, sich die einzelnen Wirkungszusammenhänge von Geschäftsmodellen vor Augen zu führen (Stiftung Familienunternehmen, 2021, S.5). So kann man ein Geschäftsmodell als System verstanden wissen, wenn es den Zusammenhang zwischen Wertschöpfung (Value Proposition), ihrer Erstellung (Value Creation), ihrer Erfassung (Value Capture) und

ihrer Bereitstellung (Value Delivery) aus Sicht des Unternehmens vorgibt. Dies wird in Abbildung 12 dargestellt (Zott et al., 2011).



Abbildung 12: Generisches Geschäftsmodell (Zott et al., 2011)

In der Praxis kommt das Business Model Canvas oft zum Einsatz (Osterwalder & Pigneur, 2010). Dieses zeigt die wesentlichen Komponenten einer Unternehmung auf der Praxisebene sowie das komplette Geschäftsmodell und seine Funktionsweise in übersichtlicher Form. Das Business Model Canvas beschäftigt sich dabei mit den essenziellen Ressourcen und Partnern, den Unternehmensaktivitäten, dem Wertschöpfungsangebot (oft simpel: Produkt- und Dienstleistungsangebote), den Kund\*innengruppen und -beziehungen, den Distributionskanälen sowie den Erlös- und Kostenarten. Infolge der sequenziellen Anordnung dieser Faktoren kann es dabei mithelfen, einen geschlossenen Wertschöpfungskreislauf entstehen zu lassen und die Geschäftstätigkeit auf eine wirtschaftlich nachhaltige Basis zu stellen. Die Geschäftsmodelle – speziell von Unternehmen der Kreislaufwirtschaft – sind ebenfalls von den Modellentwickler\*innen untersucht worden (Lüdeke-Freund et al., 2019). Daraus ist ein erweitertes Kreislaufwirtschafts-Business Model Canvas in Form eines morphologischen Kastens entstanden, in welchem allen Geschäftsmodellkomponenten (Dimensionen) verschiedene Ausgestaltungsmöglichkeiten (Optionen) zugeteilt sind. Dessen Darstellung erfolgt in Abbildung 13 (Stiftung Familienunternehmen, 2021, S.6).



Circular Economy Geschäftsmodell-Gestaltungsoptionen										
Geschäftsmodell-Dimensionen	Reparierte, renovierte, wiederaufbereitete oder recycelte Produkte		Wiederverwendbare oder recycelte Produkte		Produkte basierend auf recycelten Abfällen		Langlebige Produkte		Gebrauchte Produkte, Komponenten, Materialien oder Abfall als Produktionseinsatzmittel	
	Erleichternde Zusammenarbeit	Zurücknahme-Management	Kundenbildung	Abfallhandhabung, Verarbeitung	Produkt-/dienstleistungs-basierte Funktionen	Instandhaltung, Reparatur, Kontrolle	Produkt-/dienstleistungs-basierte Ergebnisse	Upgrading	Unterstützende Dienstleistungen	Zurücknahme-Management
Wertesprechen	Produkte	Qualitätsbewusste Kunden	Preisbewusste Kunden	„Grüne“ Kunden	Geschäftskunden	B2B Händler	B2C Händler	C2C Händler	Wiederverwendbare oder recycelbare Produktionseinsatzmittel	
	Dienstleistungen	Lieferanten und Kunden zusammenbringen	Zugang zu Produktfunktionalität bereitstellen	Bereitstellen von (produktbasierten) Dienstleistungen und Ergebnissen	Bereitstellen von gebrauchten Produkten, Komponenten, Materialien oder Abfällen	Zurücknehmen von gebrauchten Produkten, Komponenten, Materialien oder Abfällen	Teilen von Produkten, Komponenten, Materialien oder Abfällen			
Wertbereitstellung	Partner & Stakeholder	Lieferanten	Hersteller	Händler	Dienstleistungsanbieter	Öffentliche Institutionen	Sammler von Produkten, Komponenten, Materialien oder Abfällen	Andere (zum Beispiel Forschungseinrichtungen)		
	Wertschöpfungsprozesse	Instandhalten oder reparieren von Produkten, Komponenten	Recycling von Produkten, Komponenten, Materialien oder Abfällen	Upgrading oder Upcycling von Produkten, Komponenten, Materialien oder Abfällen	Weiterverkauf von Produkten, Komponenten, Materialien oder Abfällen	Zurücknehmen oder Zurückholen von Produkten, Komponenten, Materialien oder Abfällen	Gebrauchte Produkte, Komponenten, Materialien oder Abfälle als Einsatzmittel verwenden	Abstimmen von Über- und Unterkapazitäten	Produkte, Komponenten, Materialien neu entwickeln	
Wertfassung	Erlöse	Zusätzliche Produkt-Erlöse		Zahlung je Dienstleistungs-Einheit		Zahlung für Funktionen oder Ergebnisse		Preisaufschlag		
	Kosten	Personal	Reparatur, Instandhaltung, Kontrolle	Abfallbehandlung, Verarbeitung	Herstellung	Ressourceneinsatz	Transport, Logistik	Lieferrisiko		

Abbildung 13: Morphologischer Kasten für Kreislaufwirtschaft Geschäftsmodelle (Lüdeke-Freund et al., 2019)

In Abbildung 14 wird der Stoffkreislauf dargestellt und auf die zehn R-Strategien der Kreislaufwirtschaft verwiesen. Außerdem finden sich in der Abbildung Nummern von 0 bis 11, diese stellen Ansatzpunkte für Geschäftsmodelle in der Kreislaufwirtschaft dar. Tabelle 1 zeigt die Zusammenhänge zwischen den Ansatzpunkten von Geschäftsmodellen und den R-Strategien der zirkulären Wirtschaft auf.

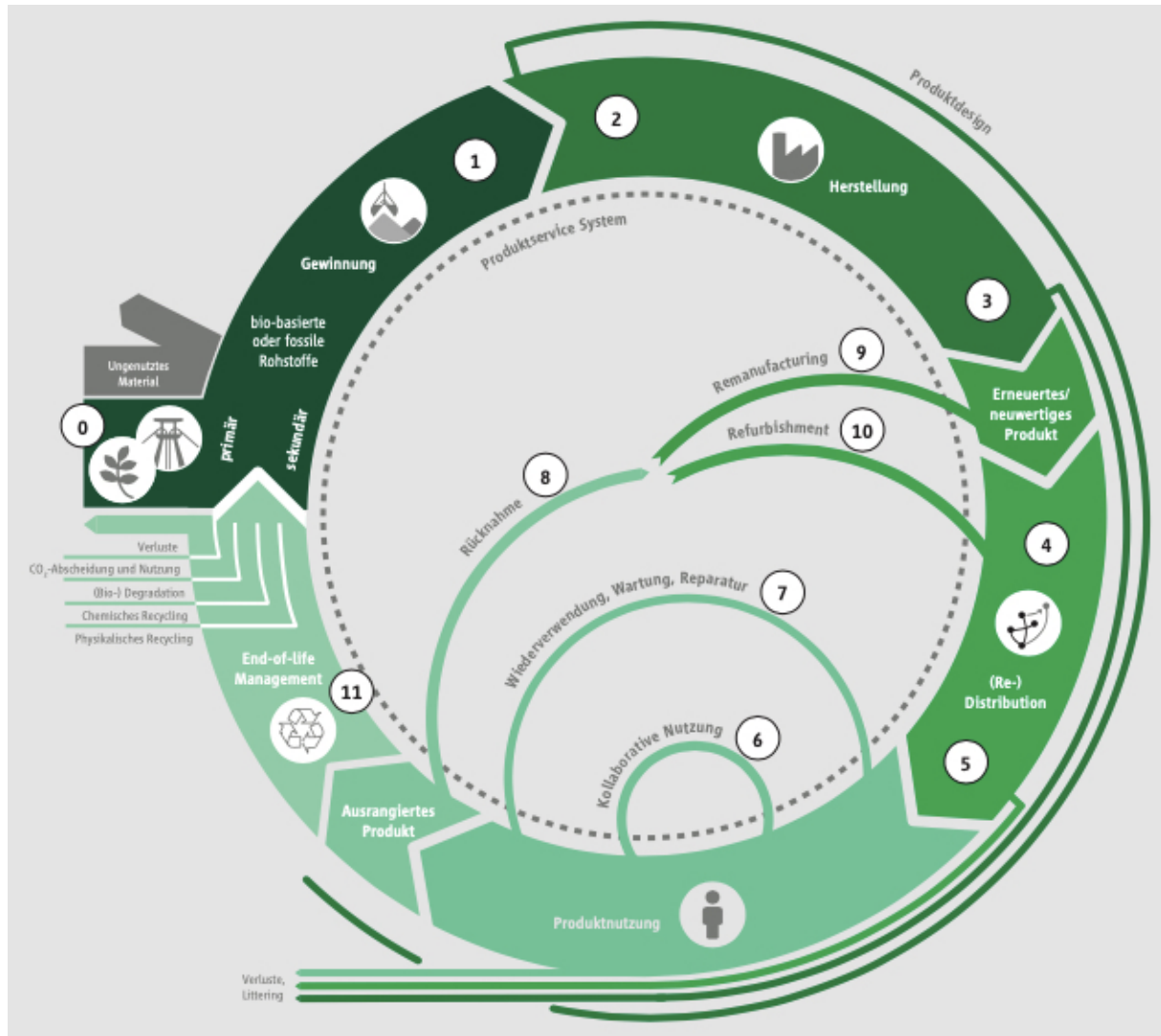


Abbildung 14: Kreislaufwirtschaft-Strategien im Stoffstrom-Kreislauf (Stiftung Familienunternehmen, 2021, S.8)

**Tabelle 1: Ansatzpunkte für Geschäftsmodelle durch Adaption der R-Strategien (vgl. Stiftung Familienunternehmen, 2021, S.9)**

Ansatzpunkt	Geschäftsmodell	Mögliche R-Strategien
0	Primärrohstoffgewinnung und Sekundärrohstoffgewinnung	R0 Refuse, R2 Reduce, R8 Recycle, R9 Recover
1	Rohstoffaufbereitung/ Rohstoffweiterverarbeitung	R0 Refuse, R1 Rethink, R2 Reduce, R8 Recycle, R9 Recover
2	Herstellung von Zwischenprodukten	R0 Refuse, R1 Rethink, R2 Reduce, R7 Repurpose, R8 Recycle, R9 Recover
3	Herstellung von Endprodukten	R0 Refuse, R1 Rethink, R2 Reduce, R4 Repair, R5 Refurbish, R6 Remanufacture, R8 Recycle, R9 Recover
4	Großhandel	R0 Refuse, R1 Rethink, R2 Reduce, R3 Reuse, R4 Repair, R5 Refurbish, R6 Remanufacture, R7 Repurpose, R8 Recycle, R9 Recover
5	Einzelhandel	R0 Refuse, R1 Rethink, R2 Reduce, R3 Reuse, R4 Repair, R5 Refurbish, R6 Remanufacture, R7 Repurpose, R8 Recycle, R9 Recover
6	Kollaborative Nutzung	R1 Rethink, R2 Reduce
7	Wiederverwendung, Wartung, Reparatur	R3 Reuse, R4 Repair, R7 Repurpose
8	Rücknahme	R0 Refuse, R1 Rethink, R5 Refurbish, R6 Remanufacture
9	Remanufacturing	R0 Refuse, R1 Rethink, R2 Reduce, R6 Remanufacture, R7 Repurpose
10	Refurbishment	R0 Refuse, R1 Rethink, R2 Reduce, R5 Refurbish, R7 Repurpose
11	End-of-Life Management	R8 Recycle

## 2.3 Remanufacturing

Remanufacturing, im Deutschen als Wiederaufarbeitung bezeichnet, ist das R6 der Kreislaufwirtschaft Strategien, wie in Kapitel 2.2 veranschaulicht. Remanufacturing definiert als Verwertung gebrauchter Produkte, einschließlich Sammlung, Reparatur, Demontage und Austausch verschlissener Komponenten, um diese wieder auf das Qualitätsniveau neu hergestellter Produkte oder sogar besser zu bringen (Elodie et al., 2020, S. 169). Der Anstoß des Remanufacturing-Prozesses erfolgt mit dem Ziel ein neuwertiges Produkt zu erhalten. Remanufacturing wird für viele verschiedene Industriezweige angewendet und, vor allem, in Bereichen mit hoher Materialintensität schon viele Jahre sehr erfolgreich betrieben (Boorsma et al., 2021). Innerhalb eines Produktlebenszyklus gibt es zwei Einstiegspunkte von Remanufacturing, wie in Abbildung 15 dargestellt.

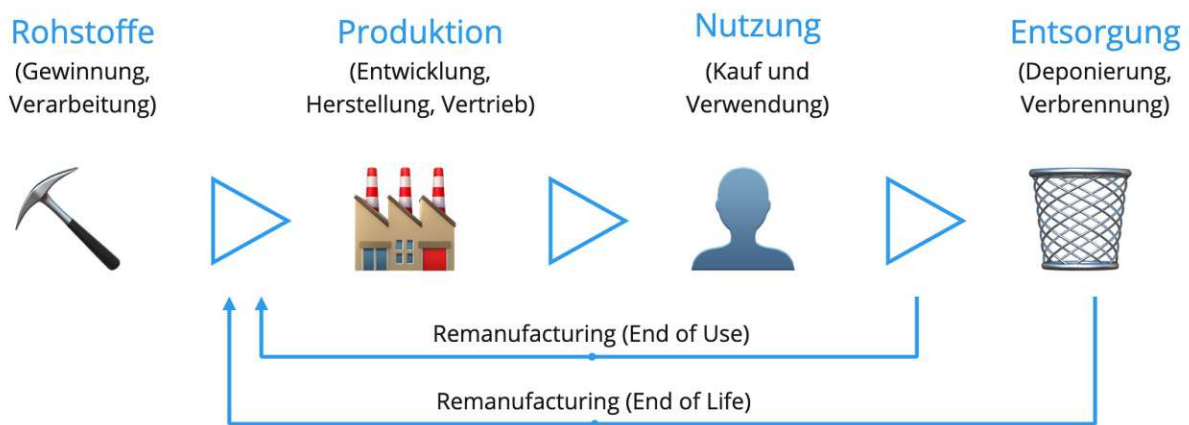


Abbildung 15: Remanufacturing im Produktlebenszyklus (Herrmann & Vetter, 2021, S. 23)

Das Remanufacturing betrifft normalerweise mehrere Prozessschritte. Die wiederaufgearbeiteten Produktteile werden abermals ihrer ursprünglichen Funktion zugeführt. Die Produktqualität wiederaufgearbeiteter Komponenten ist, im Vergleich mit einem Neuprodukt, gleichwertig oder höherwertiger. Um zu gewährleisten, dass die Qualität und Garantie der wiederaufgearbeiteten Altprodukte, jener der Neuprodukte entspricht, werden ähnliche Qualitätssicherungsmaßnahmen wie bei neuen Produkten vorgenommen (Lange, 2017, S.18).

Um den Wandel hin zur Kreislaufwirtschaft zu forcieren, berücksichtigt das Remanufacturing, als eine von mehreren Möglichkeiten der Kreislaufwirtschaft, alle Gesichtspunkte und Hinweise des Kreislaufwirtschaftskonzeptes und folgt dessen Ratschlägen. Dazu wäre es zu wenig, nur Adaptierungen an einem linearen Produktlebensweg zu bewerkstelligen und negative Auswirkungen der linearen Wirtschaft lediglich zu reduzieren. Vielmehr ist ein umfassendes und systematisches Konzept von höchster Notwendigkeit. Das Wirtschaftssystem muss auf sämtlichen Ebenen effektiv sein. Abbildung 16 zeigt die vier Bereiche bzw. Bausteine der

Kreislaufwirtschaft und wie diese in Zusammenhang stehen (MacArthur, 2017b). Dabei konzentrieren sich die Bereiche Design sowie Sammel- und Rücknahmesysteme auf technische Aspekte und Randbedingungen, während sich die beiden Ebenen innovative Geschäftsmodelle sowie interne und externe Bedingungen auf ökonomische, rechtliche, kulturelle und gesellschaftliche Gesichtspunkte beziehen.

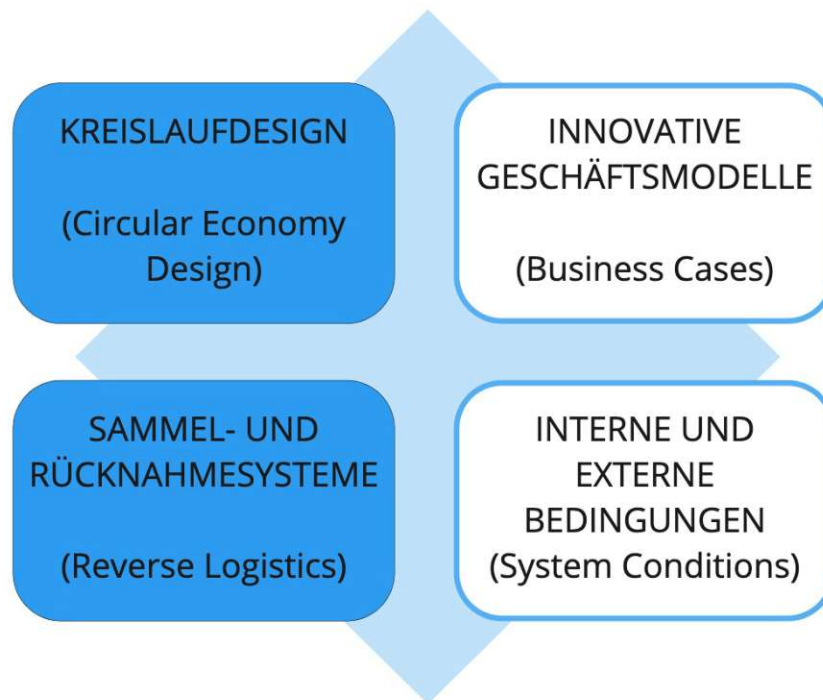


Abbildung 16: Bausteine einer Kreislaufwirtschaft (MacArthur, 2017b)

Kreislaufdesign verlangt innovative Arbeitsmethoden und weitreichende Kenntnisse bezüglich wichtiger Produkt- und Produktionsaspekte, wie z. B. entsprechende Materialauswahl, Standardisierung der einzelnen Komponenten, auf Langlebigkeit ausgelegte Produkte sowie Wiederverwendbarkeit bzw. -verwendung von Materialien und Produkten.

Kosteneffiziente, qualitativ hochwertige Sammel- und RücknahmeprozEDUREN sowie eine effektive Segmentierung von Altprodukten führen zu einer Verringerung der Materialverluste im System und zur Reduzierung der Entnahme neuer Rohstoffe aus der Natur. Dazu tragen auch Mechanismen, wie Sortierungs- und Logistiksysteme sowie Lagerung und Risikomanagement bei.

Innovative Geschäftsmodelle steigern nicht nur zur Profitabilität und optimieren die Nachhaltigkeit der einzelnen Akteure, sondern inspirieren auch weitere Firmen. Demzufolge werden sich die neuen Modelle geografisch ausbreiten und den Wandel zur Kreislaufwirtschaft beschleunigen (Herrmann & Vetter, 2021, S. 24 – 25).

Ansatzpunkte für Geschäftsmodelle im Remanufacturing sind:

- Herstellung von Endprodukten
- Großhandel
- Einzelhandel
- Rücknahme
- Remanufacturing
- Refurbishment (Stiftung Familienunternehmen, 2021, S.9)

Interne und externe Prämissen spielen darüber hinaus eine zentrale Rolle. Aspekte der Marktakzeptanz bestimmen, neben rechtlichen Rahmenbedingungen und gesellschaftlichen Bedürfnissen, sehr wesentlich den Übergang hin zur Kreislaufwirtschaft. Dazu sind jedoch auch Akzeptanz und Unterstützung von politischen Entscheidungsträgern, Medien, Forschungs- und Bildungseinrichtungen sowie von der Bevölkerung selbst, unerlässlich. Aufklärungsarbeit sowie neue Kooperationen, welche Anreize für Unternehmen und Kunden generieren, stellen Vorschläge zur Motivation dar. Geeignete Rahmenbedingungen, intern in Unternehmen selbst, sind ebenfalls Voraussetzung oder müssen kreiert werden. Innovatives Denken und Kreativität innerhalb der Unternehmen sollen nicht nur erlaubt sein, sondern müssen auch forciert werden, selbst wenn die Resultate daraus oftmals entgegen den Konventionen des linearen Wirtschaftens laufen (Herrmann & Vetter, 2021, S. 25 – 26).

Erreichbar sind eine tadellos funktionierende Kreislaufwirtschaft und somit auch das Remanufacturing nur dann, wenn Aspekte aus allen vier Bereichen Berücksichtigung finden. Die Tatsache, dass die vier Blöcke keine eindeutigen Abgrenzungen untereinander aufweisen und zudem gegenseitige, oftmals konträre Wechselwirkungen zueinander mit sich bringen, stellt eine große Herausforderung dar. So können technische Maßnahmen ihre Wertigkeit nur in Verbindung mit einem darauf ausgerichteten Geschäftsmodell entfalten. Technische Gesichtspunkte der Rückführlogistik zeigen sich ebenfalls im Produktdesign. Auch Mitarbeiter müssen sich über Geschäftsmodelle Gedanken machen dürfen, welche eventuell den Markt von bisher fabrizierten Neuprodukten kannibalisieren, selbst vor dem Hintergrund, dass gesetzliche Rahmenbedingungen neue, zirkuläre Geschäftsmethoden manchmal nicht erlauben (Technopolis 2016, S. 10 – 16 und S. 56 – 28).

## Remanufacturing- Prozess

In Abbildung 17 wird der aus fünf Hauptprozessschritten bestehende Remanufacturing-Prozess dargestellt. Vor dem 1. Prozessschritt muss die wichtige Aufgabe der Rücknahmelogistik bedacht werden, ohne welcher es keine Teile bzw. Produkte für den Anstoß von Remanufacturing geben würde.

Aktuell existieren mehrere Rücknahmemodelle für Altteile (Lange, 2017, S.25). Bei eigentumsbasierter Rücknahme bleibt die Proprietät der Ware während der Nutzung durch Kunden ununterbrochen beim Hersteller. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit gebrauchte Produkte, auf Basis eines zwischen Hersteller und Nutzer abgeschlossenen Servicevertrags, mit einer inkludierten Aufarbeitung zurückzunehmen. Weiters können gebrauchte Produkte mit einem Aufarbeitungsauftrag im Rahmen einer Auftragsinstandsetzung von Kunden direkt an den Remanufacturing-Betrieb rückgeliefert werden. In diesem Fall bekommt der Klient das identische, aufgearbeitete Produkt wieder retour. Im Zuge einer 1:1-Rücknahme geht der Kunde die Verpflichtung ein, beim Kauf eines aufgearbeiteten Produkts, ein gleiches, gebrauchtes Produkt zu retournieren. Dabei kann die Rücknahme über Nachlässe auf aufgearbeitete Produkte in die Wege geleitet werden. Bei der Rückgabe einer gebrauchten Ware bekommt der Klient eine Gutschrift, die als Preisnachlass beim Kauf der aufgearbeiteten Produkte dient. Um aufgearbeitete Produkte zu einem vertretbaren Preis offerieren zu können, ist eine kontinuierlich ausreichende Menge von Altteilen über eine gewisse Zeitspanne, mit möglichst gleichbleibender, hoher Qualität, auf Lager zu halten. Dieser Aspekt hängt in hohem Maße von der Verbreitung der Ware auf dem Markt ab. Wenn nur geringe Produktmengen im Umlauf sind, so erschwert dies die Rücknahmelogistik. Andererseits führen sehr umfangreiche Marktangebote von Neuprodukten zu einer Verringerung der Nachfrage nach aufgearbeiteten Produkten (Lange, 2017, S.25ff.; Herrmann & Vetter, 2021, S. 31 – 32).



Abbildung 17:  
Remanufacturing-Prozess  
(Herrmann et al., 2008)

Bei der Demontage werden Altgeräte bzw. -maschinen in einzelne Bestandteile auseinandergenommen und sortiert. Die Art der Zerlegung, beispielshalber eine zerstörende oder zerstörungsfreie Demontage, wird dabei von der Demontierbarkeit der Produkte bestimmt. Bei beiden Varianten dient der Prozess zur Vereinzelung von Bauteilen, Modulen, Baugruppen, Einzelstoffen oder Stoffgemischen. Intention dabei ist, entweder der gezielte Ausbau unbrauchbarer Module, um die restlichen Teile aufarbeiten zu können, oder die Separierung von Baugruppen und Einheiten, um diese wirtschaftlicher reinigen, aufarbeiten, aufbereiten oder weiterbehandeln und austauschen zu können. Produkteinheiten, welche nicht mehr verwendbar sind, müssen erkannt werden. Diese Komponenten werden aus der Prozesskette ausgesondert und einer möglichst optimalen Verwertung zugeführt. Die Demontage differiert elementar von der Montage, mit ihrer planbaren Fertigung von bestimmten Stückzahlen, durch ein schwierig einschätzbares Mengenaufkommen, ein großes Spektrum an Altgeräten, ungewisse Altgerätezustände, wie z. B. Verschmutzungen, Beschädigungen, Korrosion, unbekannte Ersatzteile, sowie durch differierende, nicht immer demontagefreundliche Altgerätestrukturen. Zusätzliche wesentliche Subjekte sind händische, teilautomatisierte oder vollautomatische Demontage, Werkzeuge, Betriebsstoffumgang, Demontagetiefe und/oder Arbeitsplatzgestaltung inklusive Planung, Ablauf und Organisation (VDI 2343 Blatt 3:2009-04; Herrmann & Vetter, 2021, S. 27 – 28).

Die zerlegten und für eine Aufarbeitung brauchbaren Altteile werden in der anschließenden Reinigungsetappe entfettet, entölt, entrostet oder entlackt. Im Anschluss an die Säuberung werden die Teile abermals geprüft und, gemäß ihrer Mangelhaftigkeit, entweder als wiedereinsetzbar - mit oder ohne Aufarbeitungsbedarf - oder als nicht wiederverwendbar klassifiziert. Komponenten, die keiner Aufarbeitung bedürfen, werden direkt der Remontage zugeleitet. Unbrauchbare Teile werden durch neue Ersatzteile substituiert (Herrmann & Vetter, 2021, S. 28).

Andere Altkomponenten werden unter Zuhilfenahme von Praktiken, die bereits für die Prozessgestaltung fixiert worden sind, aufgearbeitet, geprüft und in weiterer Folge der Remontage für die Fertigung eines aufgearbeiteten Produkts zugeführt. Sofern die Altteile durch den Originalgeräteproduzenten aufgearbeitet werden, kann die Remontage fallweise auf den Neufertigungslinien durchgeführt werden (Herrmann & Vetter, 2021, S. 28).

Durch die Endprüfung werden Leistungs- bzw. Funktionsfähigkeit kontrolliert, um zu gewährleisten, dass diese auf gleichem oder sogar höherem Level, als bei einem Neuprodukt, liegen. Qualitätssicherungsmaßnahmen werden, im Gegensatz zu Neuproduktionen, bei sämtlichen aufgearbeiteten Produkten vorgenommen (Lange, 2017, S.25ff.).



Die Marketing- und Absatzkanäle, über welche, die Produkte offeriert werden, sind stetig an die Bedürfnisse der Kunden und die Marktlage anzugleichen. Ein etablierter Absatzmarkt für reparierte, wiederverwendbare und aufgearbeitete Produkte ist dabei von enormer Wichtigkeit. Für Käufer ist es oft nicht einfach, aufgearbeitete Geräte und Maschinen, als Teile mit gleicher Qualität wie Neuprodukte, zu betrachten und ihnen Vertrauen zu schenken. Das Qualitätsvertrauen hat daher für die Marktnachfrage oberste Priorität. Um Kunden zu überzeugen, sollten Unternehmen jede Menge an Aufklärungsarbeit mobilisieren. Darüber hinaus ist ein eventueller Produktkannibalismus zu verhindern, damit aufgearbeitete Produkte nicht den Absatz neugefertigter Produkte negativ beeinträchtigen. Diesbezüglich kommt es häufig vor, dass Unternehmensbereiche, zur Neufertigung bzw. Aufarbeitung von Produkten, zueinander im Wettbewerb stehen. Solange aber im Unternehmen der Schwerpunkt auf die Neufertigung gelegt wird, dürfte es kaum unternehmerische Intention sein, diese zu schwächen, sodass Remanufacturing als Risiko für den Absatzmarkt betrachtet wird (Herrmann & Vetter, 2021, S. 32 - 33).

Alle diese Sichtweisen sind immer unter den jeweiligen, gesetzlichen Rahmenbedingungen und vom gesellschaftlichen Anspruch, im Hinblick auf einen nachhaltigen Ressourceneinsatz und das Bewusstsein über Potenziale eines ökonomischen Wiedereinsatzes von Altprodukten, zu beleuchten. Dadurch bilden sich, auf längere Sicht betrachtet, Geschäftsmodelle in Richtung einer Kreislaufwirtschaft heran, selbst wenn kurzfristig, aufgrund mancher, gesetzlicher Bestimmungen, Barrieren zu registrieren sind (Technopolis Group, 2016, S. 10 –16 und S. 56 – 58). Andererseits ist jedoch auch eine fortschreitende Adaptierung der Gesetze zur Forcierung der Kreislaufwirtschaft wahrzunehmen. Das am 4. Juli 2018 in Kraft getretene EU-Legislativpaket zur Kreislaufwirtschaft, kann als Beispiel dafür genannt werden. Novellierungen der essenziellen, abfallrechtlichen Regelungen sind Gegenstand dieses Legislativpaketes. Diese betreffen außer der Abfallrahmenrichtlinie (Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle) auch die Verpackungsrichtlinie, die Elektroaltgeräte richtlinie, die Batterierichtlinie, die Altfahrzeugrichtlinie und die Deponierichtlinie (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, 2020, S. 1). Davon besonders erwähnenswert ist der Programmentwurf „European Green Deal“ (Europäische Kommission, 2019) von der Europäischen Kommission. Dieses Papier fixiert im Kern ein kohlenstoffneutrales Europa bis 2050 und verlangt und begünstigt in diesem Kontext beispielsweise Lebenszyklusdenken, Kreislaufwirtschaft, entsprechende Produktkennzeichnungen sowie Zulassungen und Beschränkungen von Produkten. Der „European Green Deal“ präzisiert Gesetze und Regulierungen auf europäischer und nationaler Ebene (Herrmann & Vetter, 2021, S. 33).

## Arten von Remanufacturingunternehmen

Es existieren verschiedene Arten von Unternehmen die Remanufacturing betreiben. Diese Remanufacturingunternehmen können nach ihrer Beziehung zur Produktherstellung unterteilt werden (Sundin et al., 2016, S. 12). Diese werden in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2: Arten von Remanufacturingunternehmen (Sundin et al., 2016, S. 12)**

Art von Unternehmen	Beschreibung
Ursprüngliches Produktionsunternehmen (OEM)	Produktionsunternehmen, die für ihr eignes Produkt einen Remanufacturing-Prozess etabliert haben.
Vertragliches Remanufacturingunternehmen (CR)	Remanufacturingunternehmen, die einen Vertrag mit dem OEM haben und für diesen den Remanufacturing-Prozess betreiben.
Unabhängige Remanufacturingunternehmen (IR)	Remanufacturingunternehmen, die auf eigene Faust Remanufacturing durchführen, für Produkte deren Produktion sie nicht verantworten. IR haben keinen oder nur geringen Kontakt mit dem OEM.

## 2.4 State of the Art “Vorgehensmodell zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen”

Für die Gewährleistung der Wissenschaftlichkeit dieser Arbeit wird eine systematische Literaturrecherche durchgeführt, um einen Überblick vom State of the Art von Vorgehensmodellen für die Implementierung von Remanufacturing-Prozessen in Produktionsunternehmen zu bekommen. Theoretische Grundlagen bilden die Basis ernstzunehmender Wissenschaft, ohne einem Fundament aus Theorie und der sich daraus ergebenden Recherche nach dem Stand der Forschung ist es keine Wissenschaft (Cooper, 1988, S. 105). Die Literaturrecherche stellt den wesentlichen ersten Schritt dar, der das Grundgerüst ausmacht und dessen Rekonstruktion in der anschließenden Literaturanalyse maßgeblich bestimmt wird (Brocke et al., 2009, S. 1). Die Literaturanalyse deckt, die für ein Forschungsthema relevanten Quellen fokussiert auf und leistet somit einen wesentlichen Beitrag zur Relevanz und Genauigkeit der Forschung: Einerseits wird die Relevanz verbessert, indem die Replikation von bereits Bekanntem vermieden wird (Baker, 2000, S. 219). Auf der anderen Seite resultiert die Präzision der Forschung aus dem effektiven Nutzen der bestehenden Wissensbasis (Hevner et al., 2004, S. 88).

Für die systematische Literaturrecherche gibt es einen klar definierten Prozess, der in mehrere Schritte eingeteilt wird. Diese Vorgehensweise gewährleistet, dass Forscherinnen und Forscher einen Rahmen haben, um sich Aktivitäten und Meilensteine zeitlichen einzuteilen. Die Schritte sind systematisch und logisch aufgebaut, um dem vorherigen Schritt zu folgen und konsequent auf den nächsten Schritt vorzubereiten (Hermann & Hatak, 2014, S. 105).

Die verwendete Vorgehensweise im Zuge der systematischen Literaturrecherche dieser Arbeit umfasst die sechs folgenden Schritte (siehe auch Abbildung 18):

1. Definition der Forschungsfrage
2. Datenbanken festlegen
3. Suchbegriffe festlegen
4. Angewendete Auswahlkriterien
5. Überprüfung der Suchergebnisse
6. Ergebnisse der Recherche (Hermann & Hatak, 2014, S. 106).

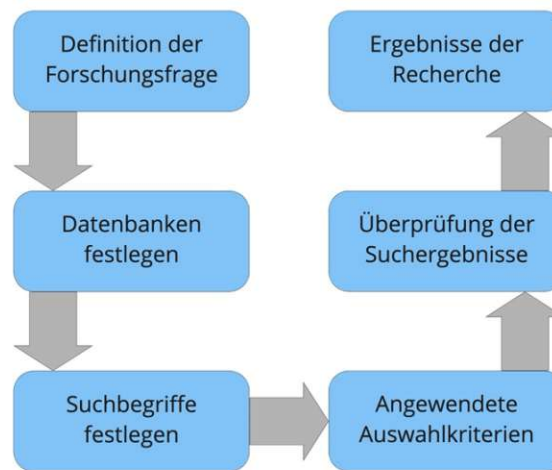


Abbildung 18: Schritte systematische Literaturrecherche (vgl. Hermann & Hatak, 2014, S. 106)

## 1. Definition der Forschungsfrage

Der wichtigste Teil jeder systematischen Literaturrecherche ist das gezielte Formulieren der Forschungsfrage inklusive möglicher Unterforschungsfragen. Dieses Fundament treibt den gesamten Rechercheprozess an (Kitchenham & Charters, 2007, S. 9).

Die Hauptforschungsfrage für diese Arbeit lautet „Wie sieht das Vorgehen zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen in einem Unternehmen aus, welches fahrerlose Transportsysteme (FTS) produziert?“ Aus dieser Forschungsfrage leiten sich vier Unterfragen ab und werden wie folgt formuliert:

- Welche Kriterien hat das Produkt zu erfüllen, um Remanufacturing für das Produkt einzuführen?
- Welche Rahmenbedingungen im Unternehmen sind zu gewährleisten, um den Remanufacturing-Prozess erfolgreich ins Unternehmen zu bringen?
- Welche wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Auswirkungen hat die Einführung von Remanufacturing auf das Unternehmen (Finanzen, Ressourceneffizienz, CO<sub>2</sub>-Fußabdruck, ...)?
- Welche Prozessschritte hat das Unternehmen durchzuführen, um Remanufacturing für das Produkt zu etablieren?

## 2. Datenbanken festlegen

Die Auswahl der geeigneten Datenbanken ist essenziell für eine systematische Literaturrecherche. Der Schwerpunkt liegt klar auf der Suche nach wissenschaftlicher Literatur und somit kommen nur wissenschaftliche Suchmaschinen für die

Literaturanalyse in Betracht. Die ausgewählten wissenschaftlichen Onlinedatenbanken und akademische Bibliotheken werden in Tabelle 3 präsentiert.

**Tabelle 3: Datenbanken Literaturrecherche**

<b>Datenbank</b>	<b>Betreiber</b>	<b>Beschreibung der Datenbank</b>
<i>Scopus</i>	Elsevier B.V.	Onlinedatenbank für wissenschaftliche Literatur
<i>ScienceDirect</i>	Elsevier B.V.	Onlinedatenbank für wissenschaftliche Literatur
<i>CatalogPlus</i>	Technische Universität Wien	Online-Bibliothek der Universität
<i>Google Scholar</i>	Google LLC	Onlinedatenbank für wissenschaftliche Literatur

### 3. Suchbegriffe festlegen

Es werden anhand der Forschungsfrage mehrere Suchbegriffe festgelegt und zum jeweiligen Suchbegriff mehrere Schlagworte definiert. Der Einsatz einer großen Bandbreite an Schlagwörtern erfolgt durch den Einsatz von booleschen Operatoren. Die Formulierung der Schlagwörter erfolgt in deutscher und englischer Sprache. Die Übersicht zu dieser Vorgehensweise findet sich in Tabelle 4.

**Tabelle 4: Suchbegriffe**

<b>Suchbegriff Nr.</b>	<b>Suchbegriff</b>	<b>Schlagwörter zum Suchbegriff in Deutsch</b>	<b>Schlagwörter zum Suchbegriff in Englisch</b>
1	Remanufacturing	(Remanufacturing)	(remanufacturing)
2	Vorgehen	(Vorgehensweise OR Vorgangsweise OR Vorgehensmodell OR Konzept OR Methodik OR Methode OR Ansatz)	(approach OR procedure OR (approach AND model) OR concept OR methodology OR methods)
3	Einführung	(Einführung OR Anwendung OR Gebrauch OR Benutzung OR Einsatz OR Implementierung OR Applikation)	(initiation OR introduction OR application OR utilization OR use OR operation OR implementation)

4	Kriterien	(Kriterien OR Kriterium OR Besonderheit OR Eigenschaft OR Kennzeichen OR Zeichen OR Merkmal OR Attribut)	(criteria OR criterion OR feature OR characteristic OR specialty OR attribute OR property OR indicator OR indication)
5	Produkt	(Produkt OR Artikel OR Erzeugnis OR Ware)	(product OR commodity OR good)
6	Randbedingungen	(Randbedingung OR Randbedingungen OR Eigenschaft OR Faktor OR Gegebenheit OR Umstand)	(condition OR (boundary AND condition) OR (marginal AND condition) OR characteristic OR property OR parameter OR factor OR fact OR situation OR circumstance OR case OR instance OR consideration)
7	Auswirkungen	(Auswirkungen OR Auswirkung OR Effekt OR Ergebnis OR Folge OR Konsequenz OR Wirkung OR Resultat)	(consequence OR effect OR impact OR implication OR outcome OR result OR achievement)
8	Prozess	(Prozess OR Ablauf OR Abfolge OR Vorgang)	(process OR workflow OR operation)

#### 4. Angewendete Auswahlkriterien

Die Literaturrecherche erfolgt anhand der Auswahlkriterien: Vorkommnis der Schlagwörter, Erscheinungsjahr, Sprache, Typ der Publikation und den Zugriffsrechten. Die Filterung zum jeweiligen Auswahlkriterium wird in der folgenden Tabelle 5 beschrieben.

Tabelle 5: Auswahlkriterien

<b>Auswahlkriterium</b>	<b>Beschreibung vom Filter</b>
<i>Vorkommnis der Schlagwörter</i>	Dokumententitel, Abstract, Keywords
<i>Erscheinungsjahr</i>	2016 bis 2022

<i>Sprache</i>	Deutsch (CatalogPlus und Google Scholar) Englisch (Scopus, ScienceDirect, CatalogPlus und Google Scholar)
<i>Typ der Publikation</i>	Konferenzberichte, Forschungsartikel, Fachartikel, Bücher und Dissertationen
<i>Zugriffsrechte</i>	Freier Zugang

Anhand der Kombination der definierten Suchbegriffe entstehen Suchschwerpunkte, um bei der Recherche die Forschungsfragen abzudecken. Tabelle 6 liefert eine Übersicht dafür.

**Tabelle 6: Suchschwerpunkte**

<b>Suchschwerpunkte</b>	<b>Kombinierte Suchbegriffe</b>	<b>Deutsche Schlagwörter</b>	<b>Englische Schlagwörter</b>
<i>Vorgehen Einführung Remanufacturing</i>	Vorgehen AND Einführung AND Remanufacturing	(Vorgehensweise OR Vorgangsweise OR Vorgehensmodell OR Konzept OR Methodik OR Methode OR Ansatz) AND (Einführung OR Anwendung OR Gebrauch OR Benutzung OR Einsatz OR Implementierung OR Applikation) AND (Remanufacturing)	(approach OR procedure OR (approach AND model) OR concept OR methodology OR methods) AND (initiation OR introduction OR application OR utilization OR use OR operation OR implementation) AND (remanufacturing)
<i>Produkt Kriterien Remanufacturing</i>	Produkt AND Kriterien AND Remanufacturing	(Produkt OR Artikel OR Erzeugnis OR Ware) AND (Kriterien OR Kriterium OR Besonderheit OR Eigenschaft OR Kennzeichen OR Zeichen OR	(product OR commodity OR good) AND (criteria OR criterion OR feature OR characteristic OR specialty OR attribute OR property OR indicator OR

		Merkmal OR Attribut)  AND (Remanufacturing)	indication) AND (remanufacturing)
<i>Randbedingungen Einführung Remanufacturing</i>	Randbedingungen AND Einführung AND Remanufacturing	(Randbedingung OR Randbedingungen OR Eigenschaft OR Faktor OR Gegebenheit OR Umstand) AND (Einführung OR Anwendung OR Gebrauch OR Benutzung OR Einsatz OR Implementierung OR Applikation) AND (Remanufacturing)	(condition OR (boundary AND condition) OR (marginal AND condition) OR characteristic OR property OR parameter OR factor OR fact OR situation OR circumstance OR case OR instance OR consideration) AND (initiation OR introduction OR application OR utilization OR use OR operation OR implementation) AND (remanufacturing)
<i>Auswirkungen Einführung Remanufacturing</i>	Auswirkungen AND Einführung AND Remanufacturing	(Auswirkungen OR Auswirkung OR Effekt OR Ergebnis OR Folge OR Konsequenz OR Wirkung OR Resultat) AND (Einführung OR Anwendung OR Gebrauch OR Benutzung OR Einsatz OR Implementierung OR Applikation) AND (Remanufacturing)	(consequence OR effect OR impact OR implication OR outcome OR result OR achievement) AND (initiation OR introduction OR application OR utilization OR use OR operation OR implementation) AND (remanufacturing)
<i>Prozess Einführung Remanufacturing</i>	Prozess AND Einführung AND Remanufacturing	(Prozess OR Ablauf OR Abfolge OR Vorgang) AND (Einführung OR Anwendung OR Gebrauch OR	(process OR workflow OR operation) AND (initiation OR introduction OR application OR



	Benutzung OR Einsatz OR Implementierung OR Applikation) AND (Remanufacturing)	utilization OR use OR operation OR implementation) AND (remanufacturing)
--	--	--

Die Datenbank ScienceDirect erlaubt nur acht boolesche Operatoren pro Kombination von Schlagwörtern. Daher findet eine Anpassung der englischen Schlagwörter für diese Suchmaschine statt. Die Darstellungen der vorgenommenen Adaptierung erschließt sich aus Tabelle 7.

**Tabelle 7: Suchschwerpunkte bei ScienceDirect**

<b>Suchschwerpunkte</b>	<b>Kombinierte Suchbegriffe</b>	<b>Englische Schlagwörter</b>
<i>Vorgehen Einführung Remanufacturing</i>	Vorgehen AND Einführung AND Remanufacturing	(approach OR procedure OR methods) AND (introduction OR application OR operation OR implementation) AND (remanufacturing)
<i>Produkt Kriterien Remanufacturing</i>	Produkt AND Kriterien AND Remanufacturing	(product) AND (criteria OR criterion OR feature OR characteristic OR attribute OR property OR indicator) AND (remanufacturing)
<i>Randbedingungen Einführung Remanufacturing</i>	Randbedingungen AND Einführung AND Remanufacturing	(condition OR characteristic OR parameter OR factor) AND (introduction OR application OR operation OR implementation) AND (remanufacturing)
<i>Auswirkungen Einführung Remanufacturing</i>	Auswirkungen AND Einführung AND Remanufacturing	(consequence OR impact OR outcome OR result) AND (introduction OR application OR operation OR implementation) AND (remanufacturing)
<i>Prozess Einführung Remanufacturing</i>	Prozess AND Einführung AND Remanufacturing	(process OR workflow OR operation) AND (introduction OR application OR operation OR implementation) AND (remanufacturing)

Die Suchschwerpunkte, unter Anwendung der Auswahlkriterien, haben, laut Tabelle 8, die folgenden Suchergebnisse auf Englisch geliefert:

Tabelle 8: Anzahl Suchergebnisse Englisch

<b>Suchschwerpunkte</b>	<b>Anzahl der Suchergebnisse</b>			
	Scopus	ScienceDirect	CatalogPlus	Google Scholar
<i>Datenbank</i>				
<i>Vorgehen Einführung Remanufacturing</i>	246	54	5.548	ca. 17.300
<i>Produkt Kriterien Remanufacturing</i>	149	39	1.494	ca. 17.600
<i>Randbedingungen Einführung Remanufacturing</i>	264	31	1.812	ca. 26.000
<i>Auswirkungen Einführung Remanufacturing</i>	268	70	1.797	ca. 25.700
<i>Prozess Einführung Remanufacturing</i>	284	73	1.790	ca. 25.900

Für die Suche auf Deutsch haben sich, unter Berücksichtigung der restlichen Auswahlkriterien, die folgenden Suchergebnisse, geordnet nach Suchschwerpunkt (siehe Tabelle 9), ergeben:

Tabelle 9: Anzahl Suchergebnisse Deutsch

<b>Suchschwerpunkte</b>	<b>Anzahl der Suchergebnisse</b>	
	CatalogPlus	Google Scholar
<i>Datenbank</i>		
<i>Vorgehen Einführung Remanufacturing</i>	15	356
<i>Produkt Kriterien Remanufacturing</i>	10	161
<i>Randbedingungen Einführung Remanufacturing</i>	12	198

<i>Auswirkungen Einführung Remanufacturing</i>	2	270
<i>Prozess Einführung Remanufacturing</i>	3	203

## 5. Überprüfung der Suchergebnisse

In Scopus und ScienceDirect sind alle Suchergebnisse, anhand der Titel und Kurzfassung, bewertet worden, ob sie relevant für die Beantwortung der Forschungsfragen sind. Bei den Datenbanken Google Scholar und CatalogPlus hat ein Screening der Titel und Kurzfassungen, jeweils für die 50 relevantesten Suchergebnisse, stattgefunden. Die verbleibenden Suchergebnisse nach der Kurzfassungs- und Titelbewertung sind auf ihre Relevanz für diese Arbeit auf Basis der Volltexte, bewertet worden.

Bei der Anzahl der Suchergebnisse, nach Bewertung anhand von Titel und Kurzfassung für die jeweilige Datenbank, sind in Tabelle 10 doppelte Treffer nicht berücksichtigt worden. Die Suchabfolge bezüglich der Datenbanken ist Scopus, ScienceDirect, Google Scholar und zuletzt CatalogPlus gewesen. Ist ein Paper in Scopus entdeckt und auch als Suchergebnis in ScienceDirect geliefert worden, wird es bei ScienceDirect nicht mehr dokumentiert. Der gleiche Vorgang hat für Scopus zu Google Scholar/CatalogPlus, ScienceDirect zu Google Scholar/CatalogPlus und Google Scholar zu CatalogPlus gegolten.

**Tabelle 10: Anzahl Suchergebnisse nach Bewertung**

<b>Datenbank</b>	<b>Anzahl der Suchergebnisse</b>	<b>Anzahl der Suchergebnisse nach Bewertung Titel und Kurzfassung</b>	<b>Anzahl der Suchergebnisse nach Bewertung Volltext</b>
<i>Scopus</i>	1.211	45	1
<i>ScienceDirect</i>	267	6	0
<i>Google Scholar</i>	ca. 113.700	20	2
<i>Catalog Plus</i>	12.483	6	0

Der genaue Ablauf von der Identifikation der Suchergebnisse bis hin zu den wissenschaftlichen Publikationen, die in dieser Arbeit berücksichtigt werden, ist in Abbildung 19 graphisch dargestellt:

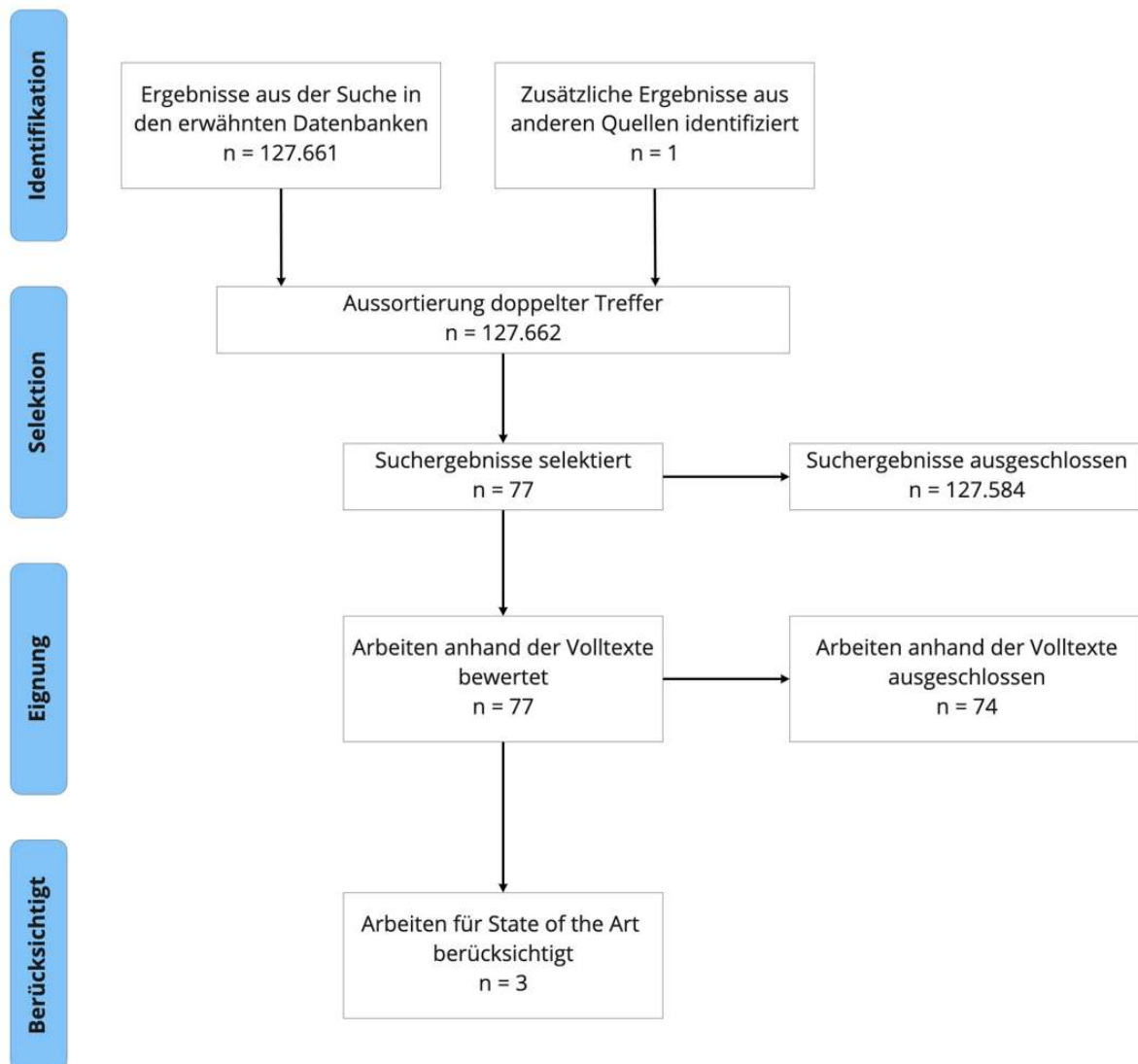


Abbildung 19: State of the Art PRISMA Flow (vgl. Page et al., 2020, S. 5)

Aus Abbildung 19 ist ersichtlich, dass drei wissenschaftliche Arbeiten für das Kapitel 2.4 „State of the Art“ Vorgehensmodell zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen relevant sind und in dieser Arbeit berücksichtigt werden. Bei den drei Arbeiten handelt es sich um zwei Paper und ein Buch. Der nachfolgende 6. Schritt, der systematischen Literaturrecherche, geht näher auf den Inhalt der berücksichtigten Literatur ein.

## 6. Ergebnisse der Recherche

Im Zuge der systematischen Literaturrecherche ist es zur Identifikation der folgenden drei Arbeiten gekommen, welche eine Relevanz für die vorliegende Diplomarbeit aufweisen:

1. On Remanufacturing Readiness Level – An introduction to a Remometer™ von Jelena Kurilova-Palisaitiene (Kurilova-Palisaitiene, 2021)
2. The strategy for implementing remanufacturing process in a commercial enterprise, the case study of a French company von Lahrou, Y., Brissaud, D., Zwolinski, P. (Lahrou et al., 2019)
3. Workbook Kreislaufwirtschaft Innovation entwickeln – Transformation gestalten mit Methoden, Tools & Checklisten! von Osann, I., Mattheis, H. (Osann & Mattheis, 2021)

Das vielversprechendste Paper, bezüglich der Vorgehensweise zur Einführung von Remanufacturing, ist die Arbeit „On Remanufacturing Readiness Level – An introduction to a Remometer™ von Jelena Kurilova-Palisaitiene“. In dieser Arbeit wird ein vier Schritte Tool vorgestellt, welches das Ziel verfolgt, das Interesse von OEM an Remanufacturing zu wecken und das Produktionsunternehmen auf seinem Weg zu erfolgreichem Remanufacturing zu unterstützen (Kurilova-Palisaitiene, 2021, S.93). Das besagte vier Schritte Tool wird in der Publikation als Remometer™ vorgestellt und umfasst die folgenden Schritte:

- Schritt 1: Feststellung wie geeignet ein Produkt für Remanufacturing ist
- Schritt 2: Bewertung des RRL des Produktionsunternehmens
- Schritt 3: Schätzung der sozio-ökonomischen und ökologischen Vorteile von Remanufacturing
- Schritt 4: Entwicklung eines Planes zur Einführung von Remanufacturing (vgl. Kurilova-Palisaitiene, 2021, S.93)

Die Arbeit geht jedoch lediglich auf die Umsetzung von Schritt 2 im Detail ein. In Schritt 2 wird für das Produktionsunternehmen der RRL bestimmt. Unter RRL definiert die Autorin einen „Remanufacturing Readiness Level“, welcher auf einer Skala von 1 bis 4 bewertet, wie gut ein Produktionsunternehmen auf die Einführung von Remanufacturing vorbereitet ist. Der RRL deckt 15 Themen mit jeweils einer dazugehörigen Frage ab und umfasst die Bereiche Geschäftsmodell, Produktionssystem, Produkt und Kunde. Zu jeder Frage gibt es vier Beispiele von Antworten, die jeweils mit einer Punktzahl versehen sind. Diese reicht von 1 bis 4 und je höher die Punktzahl, desto besser vorbereitet ist ein Unternehmen für Remanufacturing. Ein Kritikpunkt bei den vorgegebenen Antwortmöglichkeiten, um abzuschätzen in welcher Stufe man sich bewegt, ist, dass die Antworten für hohe Punktzahlen nur von Unternehmen erreicht werden können, die bereits Remanufacturing betreiben. Eine bessere Formulierung der Antworten, in Richtung vorhandenem Potential im Unternehmen für die Einführung von Remanufacturing, würde mehr Unternehmen erreichen und motivieren Remanufacturing einzuführen.

Zu den Schritten 1, 3 und 4 gibt es in diesem Paper keine Erläuterung, wie diese umgesetzt werden sollen. Damit Unternehmen das Remometer™ als Vorgehensweise

für die Einführung von Remanufacturing verwenden können, müssten in der Arbeit auch für diese Schritte Tools und Methoden beschrieben und auf deren detaillierte Umsetzungen eingegangen werden. Aus den beschriebenen Fakten folgt, dass sich das Remometer™ – Tool nur bedingt als Vorgehensmodell eignet, um Remanufacturing in einem Produktionsunternehmen einzuführen.

Das Paper “The strategy for implementing remanufacturing process in a commercial enterprise, the case study of a French company von Lahrou, Y., Brissaud, D. & Zwolinski, P.” stellt ein Vorgehen für die Einführung von Remanufacturing vor, welches drei Bereiche abdeckt und zu jedem Bereich ein Tool für die Umsetzung präsentiert. Abbildung 20 gibt einen Überblick der abgedeckten Bereiche und zu den Tools für diese:

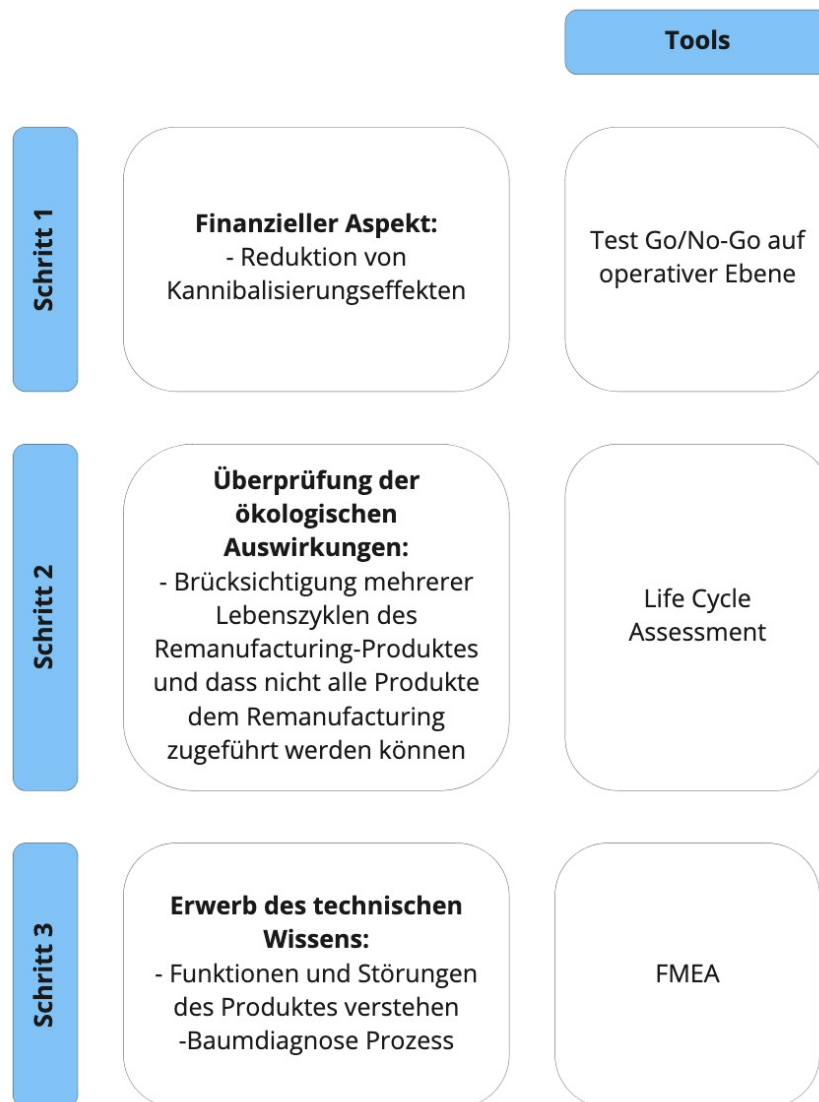


Abbildung 20: Strategie zur Implementierung von Remanufacturing für unabhängige Remanufacturingunternehmen (vgl. Lahrou et al., 2019, S. 558)

Diese wissenschaftliche Arbeit fokussiert sich auf das Vorgehen zur Umsetzung von Remanufacturing für unabhängige Remanufacturingunternehmen (siehe Erläuterung Kapitel 2.3 Tabelle 2), wodurch der vorgestellte Prozess nur bedingt für OEM angewendet werden kann. Die in der Strategie vorgestellten Tools weisen aber eine hohe Relevanz für die Einführung von Remanufacturing auf und sind im Einführungsprozess für OEM anwendbar.

Kritische zu betrachten ist die Tatsache, dass die vorgestellte Strategie nur drei Bereiche abdeckt, und im Vergleich zur Arbeit von Jelena Kurilova-Palisaitiene (Kurilova-Palisaitiene, 2021), wesentliche Bereiche, wie Produkteignung für Remanufacturing und Reifegrad des Unternehmens für Remanufacturing, außer Acht lässt.

Im Buch Workbook Kreislaufwirtschaft Innovation entwickeln – Transformation gestalten mit Methoden, Tools & Checklisten! von Osann, I. und Mattheis, H. wird ein Vorgehen, bestehend aus sieben Phasen für die Transformation zur Kreislaufwirtschaft, vorgestellt. Die sieben Phasen lauten wie folgt:

1. Phase 1: Bewusstwerdung
2. Phase 2: Verständnis
3. Phase 3: Synthese
4. Phase 4: Inspiration
5. Phase 5: Ideengenerierung
6. Phase 6: Prototypenentwicklung
7. Phase 7: Das Neue ins Leben bringen (Osann & Mattheis, 2021, S. 117)

Die Phasen werden im Buch detailliert beschrieben und stellen eine logische Abfolge dar, um die Transformation von Unternehmen hin zu Kreislaufwirtschaft zu begleiten. Für jede Phase stellen die AutorInnen Leitfragen und Ziele beziehungsweise Tools und Praktiken, zur zielgerichteten Umsetzung der jeweiligen Phase, vor.



Abbildung 21: 7 Phasenmodell (Osann & Mattheis, 2021, S.6 - 9)



Das Buch ist sehr allgemein gehalten und kann daher lediglich bedingt als Vorgehensmodell zu Einführung von Remanufacturing angewendet werden. Es eignet sich sehr gut, um Unternehmen zu inspirieren, die Kreislaufwirtschaft in die Firma zu bringen. Die vorgestellten Tools und Methoden weisen zum Teil eine Relevanz für die Einführung von Remanufacturing auf und finden bei diesem Prozess ihre Anwendung.

Die Tabelle 11 liefert einen Überblick über die Analyse der im Vorigen vorgestellten relevanten Literatur für diese Arbeit:

**Tabelle 11: Zusammenfassung Ergebnisse der Literaturrecherche**

Titel und AutorIn	On Remanufacturing Readiness Level – An introduction to a Remometer™ von Jelena Kurilova-Palisaitiene (Kurilova-Palisaitiene, 2021)	The strategy for implementing remanufacturing process in a commercial enterprise, the case study of a French company von Lahrou, Y., Brissaud, D. & Zwolinski, P. (Lahrou et al., 2019)	Workbook Kreislaufwirtschaft Innovation entwickeln – Transformation gestalten mit Methoden, Tools & Checklisten! von Osann, I., Mattheis, H. (Osann & Mattheis, 2021)
Leicht verständliche Anwendung	Ja	Ja	Ja
Strukturierter Schritt für Schritt Vorgang	Ja	teilweise	Ja
Vorstellung von Tools/Methoden für alle Schritte	teilweise	Ja	Ja
Relevanz für Unternehmen, die noch kein Remanufacturing betreiben	mittel	hoch	mittel
Fokussiert auf eine bestimmte Kategorie von Unternehmen	Nein	Ja	Nein
Abdeckung des kompletten Einführungsprozesses	teilweise	Nein, es fehlen einige Bereiche	teilweise

Bewertung der Produkteignung für Remanufacturing	Ja	Nein	Nein
Reifegrad des Unternehmens für Remanufacturing	teilweise	Nein	Nein
Analyse sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen	Ja	Teilweise	Nein
Analyse der ökologischen Auswirkungen	Ja	Ja	Nein

### 3 Forschungsbedarf, Ziel, Abgrenzung, Anforderungen

Dieses Kapitel beschäftigt sich unter 3.1 mit dem Forschungsbedarf dieser Arbeit, welcher sich aus den erkannten Forschungslücken in Kapitel 2.4 ergibt. Punkt 3.2 beleuchtet das Ziel dieser Arbeit, im Punkt 3.3 wird detailliert auf die Abgrenzung dieser Diplomarbeit eingegangen und abschließend behandelt 3.4 die Anforderungen für die Entwicklung des Vorgehensmodell zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen in einem Unternehmen, das fahrerlose Transportsysteme (FTS) produziert.

#### 3.1 Forschungsbedarf / Problemstellung

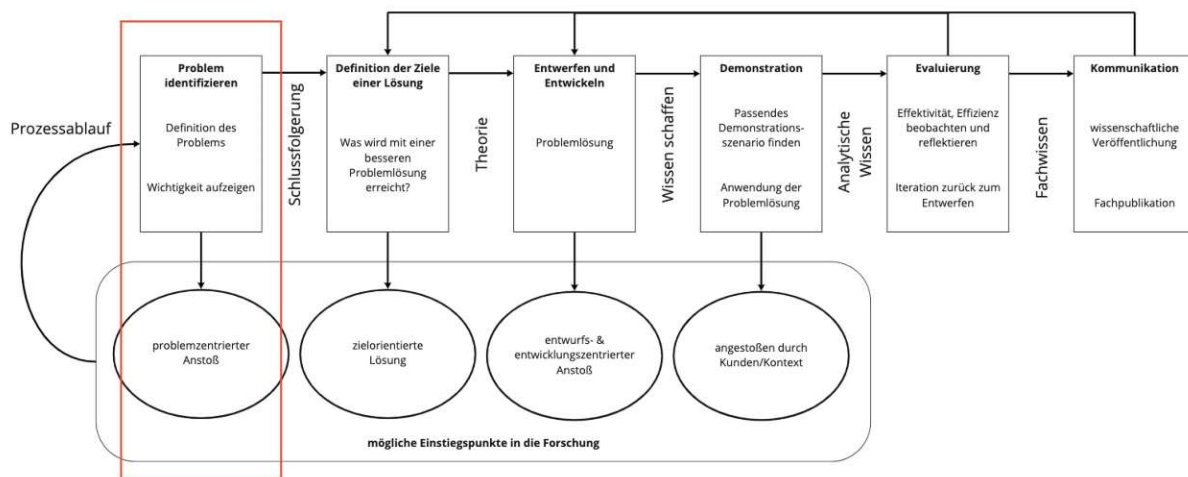


Abbildung 22: DSRM - Problem identifizieren (Peffer et al., 2007, S. 54)

Die im Kapitel 2.4 „State of the Art“ Vorgehensmodell zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen“ erörterten, relevanten, wissenschaftlichen Arbeiten und Bücher liefern kein zufriedenstellendes Ergebnis für die Einführung von Remanufacturing in einem Produktionsunternehmen. Keine, der in der systematischen Literaturrecherche eruierten Arbeiten, liefern ein konsistentes Vorgehensmodell, welches für jeden Schritt im Modell Tools und Methoden vorstellt, um den jeweiligen Schritt erfolgreich abschließen zu können. Hinsichtlich der berücksichtigten Arbeiten, Kurilova-Palisaitiene, 2021, Lahrou et al., 2019 und Osann & Mattheis, 2021, darf kritisch angemerkt werden, dass die vorgestellten Modelle keine Validierung, anhand eines praxisbezogenen Beispiels, beinhalten.

Kurilova-Palisaitiene bezieht sich in Ihrer Arbeit explizit darauf, dass in der wissenschaftlichen Literatur Beiträge fehlen, welche Tools und Methoden vorstellen, die Unternehmen beim Remanufacturing unterstützen (Kurilova-Palisaitiene, 2021, S. 92). Ihr Argument untermauert sie mit dem Verweis auf das Paper “A review of the state of the art in tools and techniques used to evaluate remanufacturing feasibility von

Goodall, P., Rosamond, E. & Harding, J.” (Goodall et. al, 2014). Kurilova-Palisaitiene versucht diese Lücke mit dem in Ihrer Arbeit (Kurilova-Palisaitiene, 2021) vorgestellten Remometer Tool zu schließen, jedoch geht sie im Detail nur auf einen Teilbereich zur Einführung von Remanufacturing ein. Somit besteht Forschungsbedarf, um die verschiedenen Ansätze in der wissenschaftlichen Literatur zu einem ganzheitlichen Vorgehensmodell zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen zusammenzuführen.

### 3.2 Definieren des Zieles

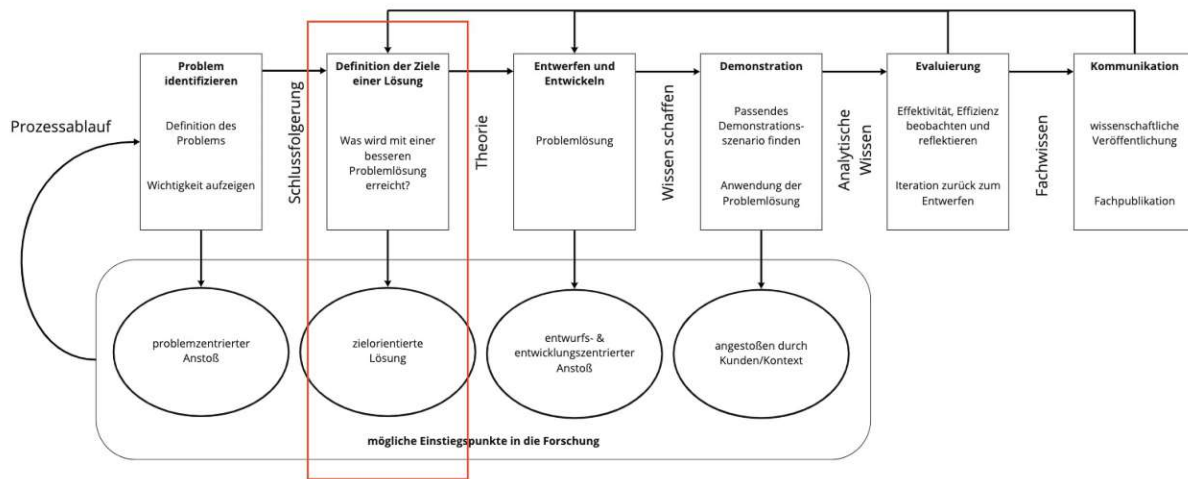


Abbildung 23: DSRM – Ziel definieren (Peffer et al., 2007, S. 54)

Aus dem unter Kapitel 3.1 entdeckten Forschungsbedarf resultiert das Hauptziel, die Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen für ein Unternehmen, das fahrerlose Transportsysteme (FTS) produziert. Dieses Ziel ergibt sich, weil es in der wissenschaftlichen Literatur kein systematisches und zielgerichtetes Vorgehensmodell gibt, welches Produktionsunternehmen, Schritt für Schritt, bei der Einführung von Remanufacturing-Prozessen begleitet. Damit dieser Diplomarbeit ein praxisbezogener Charakter eingehaucht wird und die unter Kapitel 1.3 erwähnte methodische Vorgehensweise Einhaltung findet, folgt als Ziel, die Demonstration des entwickelten Vorgehensmodells. Die Demonstration erfolgt am Beispiel eines Produktionsunternehmens, welches innovative fahrerlose Transportsysteme (FTS) entwickelt und fertigt.

Diese Arbeit zielt darauf ab, Produktionsunternehmen ein verständliches Vorgehensmodell für die Einführung von Remanufacturing-Prozessen zu liefern, welches die folgenden Punkte abdeckt:

- Genaue Beschreibung der einzelnen Schritte des Vorgehensmodells.
- Vorstellung von Tools und Methoden für die erfolgreiche Umsetzung der Schritte.

- Welche Resultate sind im jeweiligen Schritt zu erwarten?
- Welche Aktionen hat das Unternehmen, für den erfolgreichen Abschluss eines Schrittes, zu setzen?

Als Basis für die Entwicklung des Vorgehensmodell dienen die, durch gewissenhafte Auswertung bestehender, wissenschaftlicher Publikationen, Bücher und Fachliteratur, ermittelten Konzepte. Diese Konzepte bilden wichtige Teile des Vorgehensmodells ab und werden als Bestandteile für dieses herangezogen.

Ein wesentliches Teilziel stellt, die Ermittlung der benötigten Prozessschritte für das Vorgehensmodell, dar. Dabei deckt die Arbeit, die aus wissenschaftlichen Publikationen ermittelten Bereiche, welche eine Relevanz bezüglich Remanufacturing besitzen, ab. Die erörterten, kritischen Gebiete spiegeln sich in den Prozessschritten wider.

Die Analyse und Bewertung der ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen auf das Unternehmen, welche aus der Einführung von Remanufacturing resultieren, werden als weiteres Ziel definiert. Remanufacturing soll positive Effekte auf all die vorher erwähnten Bereiche liefern, ansonsten erfolgt die Erörterung möglicher Anpassungen, um positive Auswirkungen zu erzielen.

Diese Diplomarbeit hat außerdem zum Ziel, den Reifegrad des Produktes hinsichtlich Remanufacturing zu beurteilen. Abhängig vom Reifegrad, folgen verschiedene Optionen von Handlungen, um für das Produkt Remanufacturing erfolgreich um zu setzen.

Ein Ziel umfasst auch die Ermittlung der Rahmenbedingungen, welche im Produktionssystem des Unternehmen idealerweise vorherrschen oder anzupassen sind, um Remanufacturing erfolgreich einzuführen.

Die Beurteilung der Kundennachfrage und Akzeptanz beim Kunden für Produkte, die dem Remanufacturing unterzogen worden sind, definiert sich als weitere Etappe dieser Diplomarbeit.

Das Geschäftsmodell des Unternehmens, das Remanufacturing einführen möchte, hat einen direkten Einfluss auf die Umsetzung von Remanufacturing. Aus diesem Grund ergibt sich das Ziel, dass der Reifegrade des Geschäftsmodells, hinsichtlich Remanufacturing, zur Beurteilung gelangt.

All diese erwähnten Ziele spielen eine essenzielle Rolle für den erfolgreichen Abschluss dieser Arbeit und sind daher bestmöglich abzudecken beziehungsweise zu erfüllen.

### 3.3 Abgrenzung der Arbeit

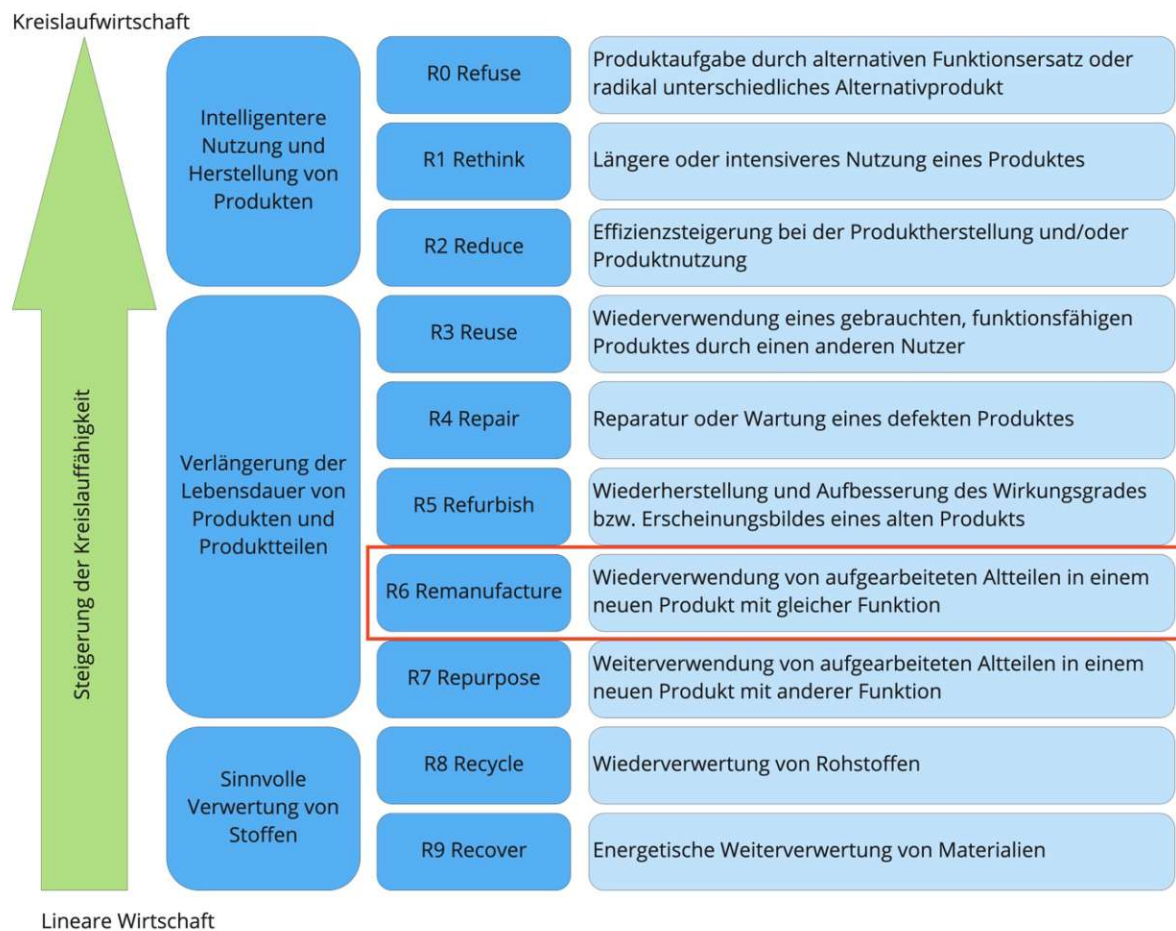
Dieses Kapitel beschäftigt sich im Detail damit, wie sich diese Arbeit zu folgenden Punkten abgrenzt:

- Anderen End of Life Strategien
- Zur relevanten Literatur
- Anwendbarkeit des Vorgehensmodells

Diese Diplomarbeit präsentiert ausschließlich ein Vorgehensmodell für die Einführung von Remanufacturing und grenzt sich daher ganz klar von anderen End of Life Strategien ab. Becker et al., 2019 zeigen eine ausführliche, in der Literatur existierende Übersicht, der unterschiedlichen EOL - Strategien (Becker et al., 2019, S.25 – 26):

- Wiederverwendung (engl. reuse): Erneute Nutzung des Produktes für den ursprünglichen Einsatzzweck, wobei das Produkt ggf. gesäubert und kleineren Reparaturen unterzogen wird.
- Weiterverwendung (engl. further use): Erneute Nutzung des Produktes in einer vom ursprünglichen Einsatzzweck abweichenden Funktion. Auch hier können eine Säuberung des Produktes sowie die Durchführung kleinerer Reparaturen vorgesehen sein.
- Reparatur (engl. repair): Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft des Produktes, etwa durch begrenztes Zerlegen des Produktes und die Instandsetzung bzw. den Austausch einzelner Komponenten.
- Wiederaufbereitung (engl. refurbishing oder reconditioning): Durchführung von Tätigkeiten, um das Produkt wieder auf ein definiertes Qualitätsniveau zu bringen. Aufgrund von Aktivitäten, wie der Inspektion, dem Austausch oder der Reparatur von Kernkomponenten, bewegt sich die Wiederaufbereitung, hinsichtlich des Aufwandes, zwischen Reparatur und Wiederinstandsetzung.
- Umwidmung (engl. repurposing): Begrenzte Zerlegung und erneute Zusammensetzung des Produktes, mit dem Ziel der Weiterverwendung. Dafür können Komponenten weggelassen oder ergänzt werden und auch eine Integration in andere Produkte oder Systeme ist möglich. Analog zur Wiederaufbereitung kann die Umwidmung Aktivitäten, wie die Inspektion sowie den Austausch oder die Reparatur von Kernkomponenten, umfassen.
- Wiederinstandsetzung oder Refabrikation (engl. remanufacturing): Aufbereitung des Produktes, sodass dieses, das Qualitätsniveau eines Neuproduktes erreicht. Dies schließt eine vollständige Zerlegung und umfassende Inspektion der Einzelkomponenten sowie deren Reparatur oder Austausch gegen neue oder wiederaufbereitete Komponenten ein. Das wiederinstandgesetzte Produkt, erhält analog zum Neuprodukt, eine Garantie.

- Kannibalisierung (engl. cannibalization): Ausbau einzelner Komponenten aus einem gebrauchten Produkt, unter Aufgabe von dessen Funktionsfähigkeit, zur Nutzung der Komponenten im Rahmen von anderen Strategien.
- Wiederverwertung (engl. recycling): Auflösung der Produktgestalt und Rückführung der Materialien und Werkstoffe bei der Herstellung des ursprünglichen Produktes.
- Weiterverwertung (engl. recycling): Auflösung der Produktgestalt und Verwendung der Materialien und Werkstoffe für die Herstellung anderer Produkte oder Komponenten (Becker et al., 2019, S.25 – 26).



**Abbildung 24: Überblick End of Life Strategien (vgl. Herrmann & Vetter, 2021, S. 18; Becker et al., 2019, S.25 – 26)**

In der wissenschaftlichen Literatur findet man viele Arbeiten, die sich damit beschäftigen, wie Entscheidungen, in Bezug auf Remanufacturing, von Unternehmen optimiert werden können. Beispiele für Publikationen dieser Art sind:

- Decision-making method of heavy-duty machine tool remanufacturing based on AHP-entropy weight and extension theory (Du, 2020)
- An integrated decision model of restoring technologies selection for engine remanufacturing practice (Peng, 2019)

- Decision makings in key remanufacturing activities to optimise remanufacturing outcomes: A review (Sitcharangsi, 2019)
- Energy based intelligent decision-making model for remanufacturing process scheme integrating economic and environmental factors (Zhang, 2021)
- A decision-making model for remanufacturers: Considering both consumers' environmental preference and the government subsidy policy (Zhao, 2018)
- An Integrated Optimization Decision Method for Remanufacturing Process Based on Conditional Evidence Theory Under Uncertainty (Bao, 2020)
- A decision support framework for remanufacturing of highly variable products using a collective intelligence approach (Bettinelli, 2020).

Die Arbeiten weisen, eine hohe Relevanz für die Entscheidungsfindung, in Bezug auf einzelne Herausforderungen, für das Remanufacturing auf, jedoch liefern sie keinen, holistischen Blick auf die Einführung von Remanufacturing. Diese Diplomarbeit grenzt sich klar von Publikationen dieser Kategorie ab, in dem ein ganzheitliches Vorgehensmodell für die Einführung von Remanufacturing-Prozessen in einer Firma entwickelt wird. Das vorgestellte Vorgehensmodell nimmt Unternehmen an der Hand, um Remanufacturing, unter Berücksichtigung positiver wirtschaftlicher, sozialer und ökologischer Auswirkungen, in der Firmen-DNA zu etablieren. Optimierungen einzelner Prozesse und Umsetzungen sind in erster Folge sekundär und gewinnen, nach erfolgreicher Einführung, an Bedeutung. Es gilt der Grundsatz: „erstmal etablieren und danach optimieren“.

Der folgende Abschnitt beschreibt, die Abgrenzung dieser Diplomarbeit von den, in der systematischen Literaturrecherche, eruierten und berücksichtigten Publikationen. Im Unterschied zum Paper von Jelena Kurilova-Palisaitiene (Kurilova-Palisaitiene, 2021) beschäftigt sich diese Arbeit im Detail mit der Umsetzung der einzelnen Schritte und geht dabei auf anwendbare Tools und Methoden ein. Die Bereiche und Struktur der vorher erwähnten Arbeit haben Potential, um in der Konzeptionierung des Vorgehensmodells (Kapitel 4.1) eine Rolle zu spielen.

Lahrou, Y., Brissaud, D. & Zwolinski, P. (Lahrou et al., 2019) beschreiben in ihrer Strategie die Einführung von Remanufacturing bei einem unabhängigen Remanufacturingunternehmen. Das präsentierte Vorgehensmodell dieser Diplomarbeit unterscheidet sich klar vom Modell von Lahrou et al., 2019, da es für die Einführung von Remanufacturing bei einem OEM konzipiert wird.

Das Buch „Workbook Kreislaufwirtschaft Innovation entwickeln – Transformation gestalten mit Methoden, Tools & Checklisten!“ von Osann, I. und Mattheis, H. (Osann & Mattheis, 2021) beschäftigt sich mit dem Vorgehen zur Einführung von Kreislaufwirtschaft generell. Außerdem siedelt es sich auf der Metaebene an. Diese Diplomarbeit fokussiert sich dagegen auf den Kreislaufwirtschaftsbereich



Remanufacturing und geht zusätzlich tiefer als die im Workbook präsentierte Metasichtweise.

Das unter Kapitel 4 entwickelte Vorgehensmodell wird, anhand eines Unternehmens, das sich mit der Entwicklung und Produktion von innovativen, fahrerlosen Transportsystemen auseinandersetzt, validiert. Die Validierung stellt sicher, dass das Vorgehensmodell für dieses spezifische Unternehmen anwendbar ist. Die Konzipierung des Vorgehensmodells findet, unter Berücksichtigung der in Kapitel 3.4 diskutierten Anforderungen, statt. Da diese für die Anwendung von Remanufacturing generell gültig sind, könnte daraus geschlossen werden, dass das Vorgehensmodell für alle Produktionsunternehmen seine Relevanz aufweist. Die Überprüfung der generellen Anwendbarkeit des Vorgehensmodells ist aber nicht Teil dieser Diplomarbeit.

### 3.4 Anforderungen an das Modell

Dieses Kapitel legt die Anforderungen fest, welche in der Entwicklung des Vorgehensmodells, zur Einführung von Remanufacturing, zu erfüllen sind. Diese Anforderungen ergeben sich aus zwei wesentlichen Bereichen:

1. Kritische Bereiche, die für die Einführung von Remanufacturing relevant sind und für die das Modell Lösungen liefert.
2. Eigenschaften, die für die Unternehmen von Bedeutung sind, welche das Vorgehensmodell anwenden.

Die für die Anwendung beziehungsweise Einführung von Remanufacturing bei einem OEM kritischen Bereiche werden, anhand der wissenschaftlichen Literatur, herausgearbeitet. Einen geeigneten Überblick über die angesprochenen kritischen Bereiche liefert die Publikation: „How an OEM Can Become Circular with Remanufacturing: The Case of Robotic Lawn Mowers“ von Kurilova-Palisaitiene, J., Vogt Duberg, J., Johansson, G. & Sundin, E. (Kurilova-Palisaitiene et al., 2020). Diese Arbeit ermittelt die kritischen Bereiche, anhand mehrerer wissenschaftlichen Publikationen. Die folgende Tabelle 12 zeigt einen Überblick der kritischen Bereiche und referenziert auf den Ursprung davon.

**Tabelle 12: Ursprung kritischer Bereiche für die Einführung von Remanufacturing bei OEMs (vgl. Kurilova-Palisaitiene et al., 2020, S. 268)**

<i>Kritischer Bereich</i>	<b>Ursprung des kritischen Bereiches</b>
Kunden	<p>Lekurwale, R.-R., Akarte, M.-M., Raut, D.-N. (2015). Framework to evaluate manufacturing capability using analytical hierarchy process. <i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>, vol. 76, 565-576. (Lekurwale et al., 2015)</p> <p>Miltenburg, J. (2008). Setting manufacturing strategy for a factory-within-a-factory. <i>International Journal of Production Economics</i>, vol. 113(1), 307-323. (Miltenburg, 2008)</p> <p>Sundin, E., Sakao, T., Lindahl, M., Kao, C., Joungerious, B., Ijomah, W. (2016). Map of Remanufacturing Business Model Landscape. Report from the Horizon 2020 project Remanufacturing Network, Grant Agreement No 645984. (Sundin et al., 2016)</p>
Produkt	<p>Lekurwale, R.-R., Akarte, M.-M., Raut, D.-N. (2015). Framework to evaluate manufacturing capability using analytical hierarchy process. <i>International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>, vol. 76, 565-576. (Lekurwale et al., 2015)</p> <p>Miltenburg, J. (2008). Setting manufacturing strategy for a factory-within-a-factory. <i>International Journal of Production Economics</i>, vol. 113(1), 307-323. (Miltenburg, 2008)</p>
wirtschaftliche Nachhaltigkeit	<p>Demirel, N.-Ö., Gökçen, H. (2008). A mixed integer programming model for remanufacturing in reverse logistics environment. <i>The International Journal of Advanced Manufacturing Technology</i>, vol. 39(11-12), 1197-1206. (Demirel &amp; Gökçen, 2008)</p> <p>Fleischmann, M., Krikke, R.-H., Dekker, R., Flapper, S.-D.-P. (2000). A characterisation of logistics networks for product recovery. <i>Omega</i>, vol. 28(6), 653-666. (Fleischmann et al., 2000)</p> <p>Guidat, T., Uoti, M., Tonteri, H., Määtä, T. (2015). A classification of remanufacturing networks in Europe and their influence on new entrants. In: <i>Procedia CIRP</i>, vol. 26, 683-688. (Guidat et al., 2015)</p> <p>Matsumoto, M., Umeda, Y. (2011). An Analysis of Remanufacturing Practices in Japan. <i>Journal of Remanufacturing</i>, vol. 1(1), 1-11. (Matsumoto &amp; Umeda, 2011)</p> <p>Seitz, M.-A. (2007). A critical assessment of motives for product recovery: the case of engine remanufacturing. <i>Journal of Cleaner Production</i>, vol. 15(11-12), 1147-1157. (Seitz, 2007)</p>

ökologische  
Nachhaltigkeit

Baustani, A., Sahni, S., Graves, S.-C., Gutowski, T.-G. (2010). Appliances Remanufacturing and Life Cycle Energy and Economic Savings. In: The International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST). (Baustani et al., 2010)

Gell, M. (2008). Carbon Footprints and Ecodesign of Toner Cartridges. UK: Xanfeon Energy & Environmental Services. (Gell, 2008)

Goldey, C.-L., Kuester, E.-U., Mummert, R., Okrasinski, T.-A., Olson, D., Schaeffer, W.-J. (2010). Lifecycle assessment of the environmental benefits of remanufactured telecommunications product within a "green" supply chain. Symposium, 1-6. (Goldey et al., 2010)

Guidat, T., Uoti, M., Tonteri, H., Määttä, T. (2015). A classification of remanufacturing networks in Europe and their influence on new entrants. In: Procedia CIRP, vol. 26, 683-688. (Guidat et al., 2015)

Kara, H. (2010). Comparative Carbon Footprint Analysis of New and Remanufactured Inkjet Cartridges. Center for Remanufacturing and Reuse. (Kara, 2010)

Kerr, W., Ryan, C. (2001). Eco-efficiency gains from remanufacturing: A case study of photocopier remanufacturing at Fuji Xerox Australia. Journal of Clearer Production, vol. 9, 75-81. (Kerr & Ryan, 2001)

Lindhahl, M., Sundin, E., Östlin, J. (2006). Environmental Issues within the Remanufacturing Industry. In: CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, Leuven, Belgium, 447-452. (Lindhahl et al., 2006)

Matsumoto, M., Umeda, Y. (2011). An Analysis of Remanufacturing Practices in Japan. Journal of Remanufacturing, vol. 1(1), 1-11. (Matsumoto & Umeda, 2011)

Östlin, J. (2008). On remanufacturing systems: analysing and managing material flows and remanufacturing processes. Doctoral dissertation, Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Linköping. (Östlin, 2008)

Seitz, M.-A. (2007). A critical assessment of motives for product recovery: the case of engine remanufacturing. Journal of Cleaner Production, vol. 15(11-12), 1147-1157. (Seitz, 2007)

Sundin, E., Lee, H. (2011). In what way is remanufacturing good for the environment?. In: Proceedings of the 7th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign-11), Kyoto, Japan. (Sundin & Lee, 2011)

### soziale Nachhaltigkeit

Sundin, E., Tyskeng, S. (2003). Inverse Manufacturing at Electrolux or Recycling at Local Facilities? -A Comparison from Environmental and Economic Perspectives. In: Proceedings of EcoDesign 2003, Tokyo, Japan. (Sudin & Tyskeng, 2003)

Sundin, E., Sakao, T., Lindahl, M., Kao, C., Joungerious, B., Ijomah, W. (2016). Map of Remanufacturing Business Model Landscape. Report from the Horizon 2020 project Remanufacturing Network, Grant Agreement No 645984. (Sudin et al., 2016)

Toffel, M.-W. (2004). Strategic Management of Product Recovery. California Management Review, vol. 46(2), 120-141. (Toffel, 2004)

Wei, S., Tang, O., Sundin, E. (2015). Core (product) Acquisition Management for remanufacturing: a review. Journal of Remanufacturing, vol. 5(4), 1-27. (Wei et al., 2015)

Ellen MacArthur Foundation (2017a). What can I do within my business. Abrufdatum: 14. Mai 2022. <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/explore/what-can-i-do-within-my-business>. (MacArthur, 2017a)

Murray, A., Skene, K., Haynes, K. (2008). The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. Journal of Business Ethics, vol. 140(3), 369-380. (Murray et al., 2008)

Östlin, J. (2008). On remanufacturing systems: analysing and managing material flows and remanufacturing processes. Doctoral dissertation, Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Linköping. (Östlin, 2008)

Sundin, E., Sakao, T., Lindahl, M., Kao, C., Joungerious, B., Ijomah, W. (2016). Map of Remanufacturing Business Model Landscape. Report from the Horizon 2020 project Remanufacturing Network, Grant Agreement No 645984. (Sudin et al., 2016)

Ellen MacArthur Foundation (2017a). What can I do within my business. Abrufdatum: 14. Mai 2022. <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/explore/what-can-i-do-within-my-business>. (MacArthur, 2017a)

Lekurwale, R.-R., Akarte, M.-M., Raut, D.-N. (2015). Framework to evaluate manufacturing capability using analytical hierarchy process. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 76, 565-576. (Lekurwale et al., 2015)

Miltenburg, J. (2008). Setting manufacturing strategy for a factory-within-a-factory. International Journal of Production Economics, vol. 113(1), 307-323. (Miltenburg, 2008)

### Geschäftsmodell

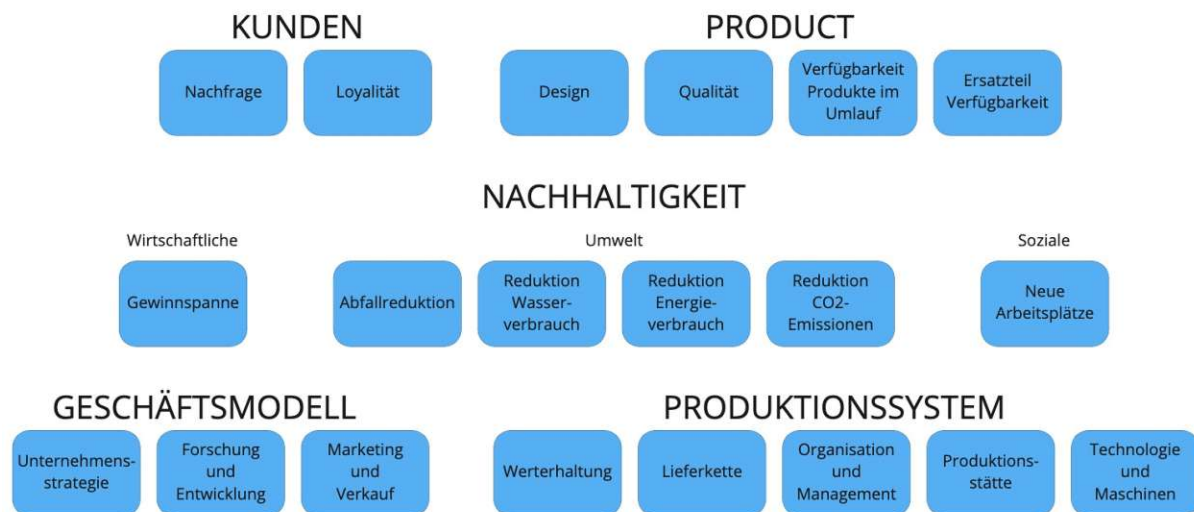
Produktionssystem

Murray, A., Skene, K., Haynes, K. (2008). The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, vol. 140(3), 369-380. (Murray et al., 2008)

Lekurwale, R.-R., Akarte, M.-M., Raut, D.-N. (2015). Framework to evaluate manufacturing capability using analytical hierarchy process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 76, 565-576. (Lekurwale et al., 2015)

Miltenburg, J. (2008). Setting manufacturing strategy for a factory-within-a-factory. *International Journal of Production Economics*, vol. 113(1), 307-323. (Miltenburg, 2008)

Die in Tabelle 12 mit der dazugehörigen Literatur, angesprochenen, kritischen Bereiche werden in einem übersichtlichen Schaubild (siehe Abbildung 25) zusammengefasst und in Unterbereiche aufgeteilt. Auf die Details zu den einzelnen Bereichen und deren Unterbereichen, sowie deren Bedeutung für die Konzeptionierung der Vorgehensmodells, geht Kapitel 4.1. ein.



**Abbildung 25: Kritischer Bereiche und Unterbereiche für die Einführung von Remanufacturing bei OEMs (vgl. Kurilova-Palisaitiene, 2020, S. 268)**

Für die Beurteilung der Eigenschaften, welche das Vorgehensmodell erfüllen muss, damit es von hoher Relevanz für das OEM ist, welches dieses anwendet, hat der Verfasser dieser Arbeit leitfadengestützte Experteninterviews geführt. Qualitative, leitfadengestützte Interviews sind eine verbreitete, ausdifferenzierte und methodologisch gut ausgearbeitete, wissenschaftliche Methode. Das Leitfadeninterview dient zur Erhebung qualitativer Daten, aus welchen Anforderungen für das Vorgehensmodell abgeleitet werden. Diese spezielle Art von Interview gestaltet sich durch die Führung über einen vorbereiteten Leitfaden. Das leitfadengestützte

Experteninterview unterscheidet sich vom Leitfadeninterview lediglich über die spezifische Auswahl und den Status der Befragten. (Helfferich, 2019, S.669).

Eine Person definiert sich als Expertin/Experte, wenn sie oder er für die Entwicklung, Implementierung oder Kontrolle einer Lösung verantwortlich ist, oder sind Personen, die privilegierten Zugang zu Personen oder Entscheidungsprozessen haben (Meuser & Nagel, 1991). Um die unterschiedlichen Sichtweisen im Unternehmen abzudecken, ist die Expertenauswahl auf eine Person aus der obersten Managementebene sowie eine Person, die eine wesentliche Rolle in der operativen Umsetzung von Remanufacturing in der Produktionsfirma spielt, gefallen.

**Tabelle 13: Übersicht der Personen für die Experteninterviews**

<b>Verantwortungsbereich</b>	
Experte 1	Chief Technology Officer – Teil der obersten Managementebene und Management des gesamten technischen Bereiches beim OEM
Experte 2	Head of Operations – Management der gesamten Produktion beim OEM

Der Leitfaden ist eine vorab vereinbarte und systematisch angewandte Vorgabe zur Gestaltung des Interviewablaufs. Die Grundlage für die Erstellung des Leitfadens bildet die aus vier Schritten bestehende SPSS-Formel:

1. Sammeln von Fragen
2. Prüfen der Fragen
3. Sortieren
4. Subsumieren (Helfferich, 2011, S.178 ff.)

**Tabelle 14: Schema des Leitfadens (vgl. Helfferich, 2019, S.678)**

<b>Leitfrage/Stimulus/ Erzählaufforderung</b>	<b>Inhaltliche Aspekte</b> <b>Stichworte – nur</b> <b>erfragen, wenn nicht von</b> <b>allein thematisiert</b>	<b>(Nach-)Fragen</b> <b>obligatorischer</b> <b>Formulierung</b>	<b>mit</b>
Erzählaufforderung			
Erzählaufforderung			
Erzählaufforderung			
Bilanzierungsfragen			

Einstellungsfragen

Abschlussfrage: Fehlt etwas?

Auf Basis des in Tabelle 14 präsentierten Schemas für den Leitfaden, erstellt der Autor den Leitfaden für die Experteninterviews dieser Diplomarbeit (siehe Tabelle 15).

Tabelle 15: Leitfaden für Experteninterview (vgl. Helfferich, 2019, S.678)

<b>Leitfrage/Stimulus/ Erzählaufforderung</b>	<b>Inhaltliche Aspekte Stichworte – nur erfragen, wenn nicht von allein thematisiert</b>	<b>(Nach-)Fragen mit obligatorischer Formulierung</b>
Wie sieht das Vorgehen im Unternehmen aus, wenn ihr neue Prozesse im Unternehmen einführt?	Theorie vs. Praxis, Treiber, welche Prozesse	Wird dabei auf bewährte Managementmethoden / Vorgehensmodelle zurückgegriffen? Wenn ja, welche? Was sind eure Anforderungen an diese Methoden / Modelle? Wer gibt den Anstoß dafür?
Habt ihr es als Unternehmen bereits in Erwägung gezogen, Kreislaufwirtschafts- / Remanufacturing-Prozesse einzuführen?	Treiber dafür (Markt, Kunden, CO <sub>2</sub> -Ziele, Nachhaltigkeit wichtig, Thema für die Zukunft, ...), viel beschäftigt mit anderen Themen, schwierig bei schnellem Wachstum, Personal für Umsetzung fehlt, Themenkomplexität	Wenn ja, was ist eure Motivation dazu? Wenn nein, welche Hürden gibt es dafür? Was bräuchte es, dass das Thema für euch relevant wird?  Welche Faktoren beeinflussen diese Entscheidung am meisten?
Besteht Bedarf auf ein Vorgehensmodell, für die Einführung von Remanufacturing, zurückgreifen zu können?	Theorie vs. Praxis, standardisierbar, Hilfestellung, externer Support	Glaubt ihr, dass ein standardisierter Einführungsprozess sinnvoll ist?
Was sind aus Unternehmenssicht die wichtigsten Anforderungen an ein Vorgehensmodell zur Einführung von Remanufacturing?	Theorie vs. Praxis, Stakeholder, Personal für Umsetzung, günstig, leicht verständlich, anwendungsspezifisch, schnell umsetzbar, planbar, Auswirkungen,	Was sind Faktoren die Vorgehensmodelle für das Unternehmen interessant machen?

Seid ihr grundsätzlich positiv/negativ gegenüber der Anwendung von Vorgehensmodellen eingestellt und warum?

Gute / schlechte Erfahrungen? Wenig Praxisbezug? Vorteile / Nachteile

Was bedarf es, damit ihr dem Thema positiv gegenübersteht?

Glaubt ihr die Einführung von Remanufacturing hätte einen positiven Einfluss auf das Unternehmen?

Wettbewerbsvorteil? Bessere Wahrnehmung beim Kunden? Besondere Marktposition?

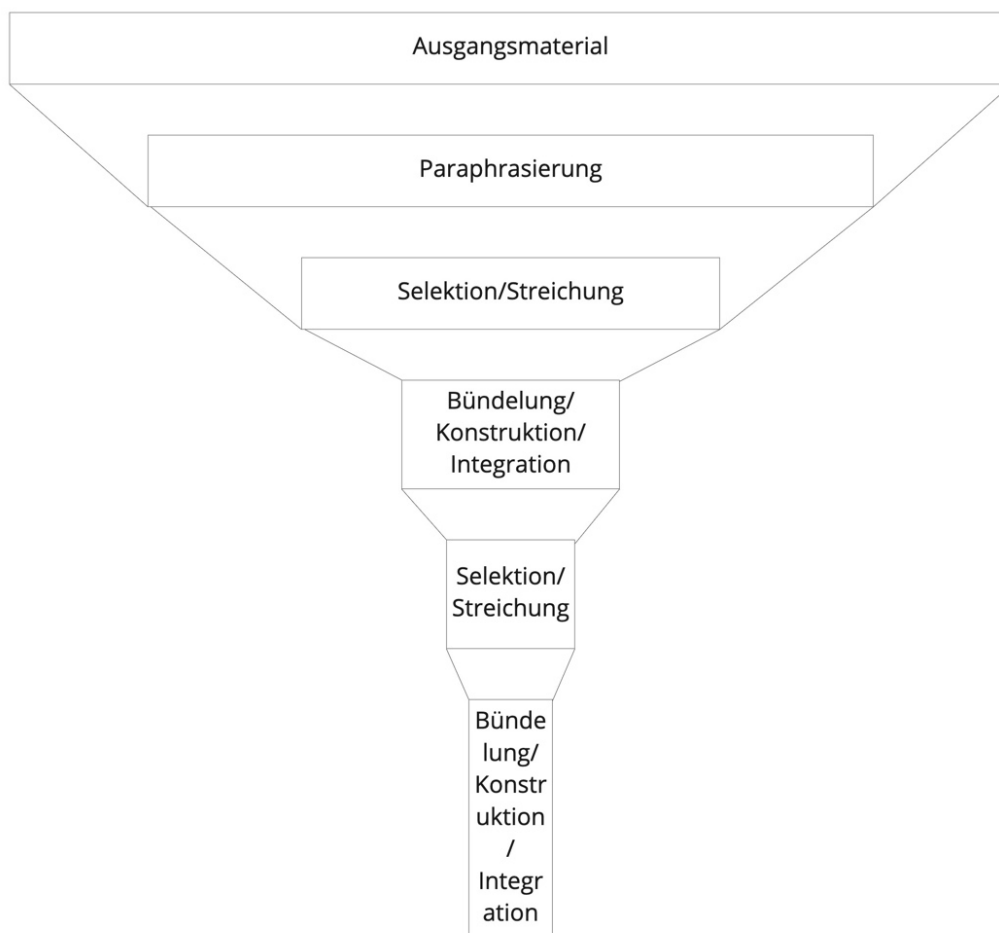
Welche Rahmenbedingungen würden den positiven Einfluss erhöhen?

Abschlussfrage: Fehlt etwas, dass wir, in Bezug auf die Einführung von Remanufacturing in eurem Unternehmen, nicht besprochen haben?

Die Interviews sind einzeln mit dem jeweiligen Experten geführt worden und dauerten jeweils ca. 30 Minuten. Die Dokumentation der Gespräche fand mittels Tonaufzeichnung und Handprotokoll statt.

Für die Gewinnung der wesentlichen Anforderungen an das Vorgehensmodell, zur Einführung von Remanufacturing aus Sicht des OEMs, werden die Experteninterviews einer qualitativen Inhaltsanalyse unterzogen. Das Ziel dieser Analyse besteht darin, eine große Materialmenge auf ein überschaubares Maß zu kürzen und die wesentlichen Inhalte/Anforderungen zu erhalten (Mayring, 2010, S.85). Dieser Vorgang ist in Abbildung 26 dargestellt.





**Abbildung 26: Materialreduktion durch die Zusammenfassung (Mayring, 2010, S.85)**

Für die Experten ist das Thema Einführung von Remanufacturing von hoher Relevanz, da sie einen klaren Wettbewerbsvorteil darin sehen und weil Remanufacturing zusätzlich Probleme in der aktuellen Lieferkettenthematik löst. In den Interviews hat sich herauskristallisiert, dass die Experten zu dem Thema Anwendung von Vorgehensmodellen, aus der Theorie in der Praxis, offen sind und dies im Unternehmen bereits öfter realisiert haben. In der Applikation von Vorgehensmodellen ist es, aus Sicht der Experten, wichtig, dass es einen klar definierten Verantwortlichen für den Einführungsprozess gibt und dass alle relevanten Stakeholder mit ins Boot geholt werden. Während der Interviews hat sich herausgestellt, dass es wichtig ist, dass das Vorgehensmodell eine klare Schritt für Schritt Abfolge aufzeigt und leicht verständlich ist. Zusätzlich ist dies von großer Bedeutung, dass das Vorgehensmodell die Vorteile und Auswirkungen von Remanufacturing auf das Unternehmen aufzeigt.

Die aus der Literatur extrahierten Anforderungen an das Vorgehensmodell und jene, die sich aus den Experteninterviews ergeben haben, spiegeln sich in folgender Zusammenfassung wider:

Tabelle 16: Anforderungen an das Modell

	<b>Anforderung</b>
1	Definition der Verantwortlichen und Stakeholder
2	Klare Abfolge der Schritte
3	Einfache Verständlichkeit
4	Analyse und Bewertung ökologischer Auswirkungen
5	Analyse und Bewertung sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen
6	Reifegrad des Produktes hinsichtlich Remanufacturing
7	Reifegrad des Produktionssystems hinsichtlich Remanufacturing
8	Kundennachfrage und Akzeptanz beim Kunden
9	Reifegrad des Geschäftsmodells hinsichtlich Remanufacturing

## 4 Entwicklung des Vorgehensmodells

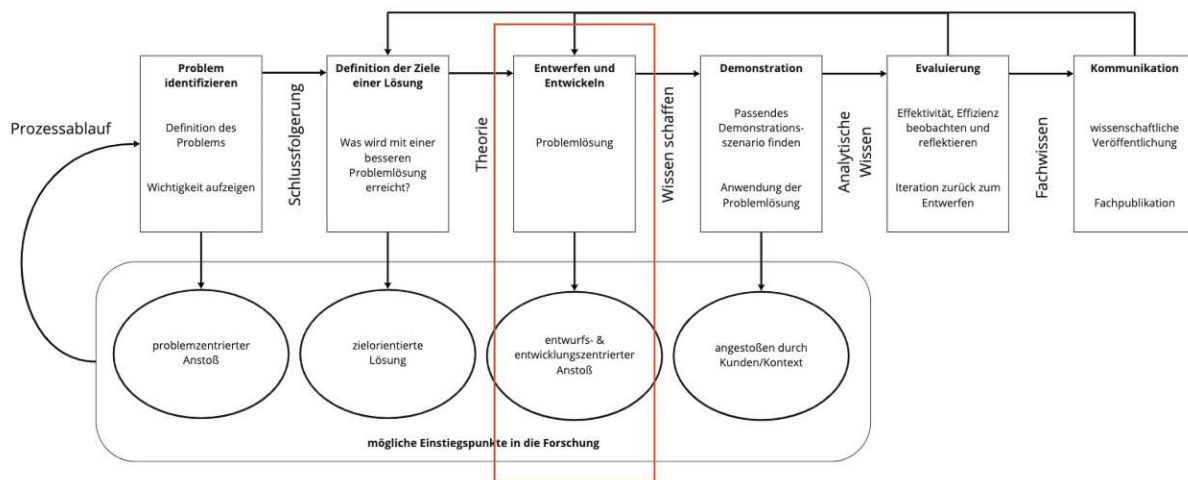


Abbildung 27: DSRM – Entwerfen und Entwickeln (Peppers et al., 2007, S. 54)

Das Kapitel 4 behandelt den dritten Schritt im DSRM-Prozess und umfasst somit das Entwerfen und Entwickeln, woraus anschließend die Problemlösung resultiert. Dieser Schritt beinhaltet die Bestimmung der gewünschten Funktionalität sowie der Architektur der Problemlösung und die anschließende Erstellung dieser. Zu den Ressourcen, die für den Übergang von den Zielen zum Entwurf und zur Entwicklung erforderlich sind, gehört theoretisches Wissen, das in einer Lösung zum Tragen kommt (Peppers et al., 2007, S. 55). Kapitel 4.1 Konzeptionierung des Vorgehensmodells deckt die Bestimmung der gewünschten Funktionalitäten und der Architektur ab. Die Erstellung der Problemlösung findet sich in Kapitel 4.2 Umsetzung des Vorgehensmodells wieder. Abschließend behandelt Kapitel 4.3 eine Zusammenfassung und kritische Reflexion des entwickelten Vorgehensmodells zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen.

### 4.1 Konzeptionierung des Vorgehensmodells

Dieses Kapitel behandelt, die Konzeptionierung des Vorgehensmodells für die Einführung von Remanufacturing-Prozessen. Die in der Anforderungsanalyse erhobenen Anforderungen (siehe Tabelle 16) an das Vorgehensmodell spielen eine wesentliche Rolle in der Konzeptionierung. Die Anforderungen, Analyse und Bewertung ökologischer Auswirkungen, Analyse und Bewertung sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen, Reifegrad des Produktes hinsichtlich Remanufacturing, Reifegrad des Produktionssystems bezüglich Remanufacturing, Kundennachfrage und Akzeptanz beim Kunden sowie Reifegrad des Geschäftsmodells hinsichtlich Remanufacturing, haben direkt in die Architektur des Vorgehensmodells einzufließen. Die Punkte, klare Abfolge der Schritte und einfache Verständlichkeit, bestimmen die Eigenschaften, welche die Architektur des Vorgehensmodells zu gewährleisten hat.

Anhand der Anforderung liefert die Konzeptionierung ein, Schritt für Schritt, umsetzbares Vorgehensmodell zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen. Die Schritte des Vorgehensmodells werden in Abbildung 28 dargestellt. In weiterer Folge kommt es zur Beschreibung der einzelnen Schritte und deren Bedeutung für die Einführung von Remanufacturing. Die Durchführung des jeweiligen Schrittes im Unternehmen beschreibt Kapitel 4.2., wobei die in diesem Kapitel noch nicht erwähnte Anforderung, Definition der Verantwortlichen und Stakeholder, berücksichtigt wird.



Abbildung 28: Schritte Vorgehensmodell

Die Abfolge der Schritte ist so gewählt, dass diese für den Anwender einfach verständlich und nacheinander durchzuführen sind, ohne dass Informationen aus einem nachfolgenden Schritt erforderlich sind.

### Schritt 1: Reifegrad des Produkts hinsichtlich Remanufacturing



Abbildung 29: Schritt 1 Vorgehensmodell

Im ersten Schritt geht es darum, den Reifegrad eines Produktes für die Durchführung von Remanufacturing zu ermitteln. Damit bestimmt man die Eignung eines Produktes für die Zuführung in einen Remanufacturing-Prozess. Das Design eines Produktes hat den größten Einfluss auf die Produktionsleistung (Lekurwale et al., 2015, S. 571). Das Design eines Produktes für Remanufacturing beeinflusst die Wartungseignung des Produktes und die Komplexität des Remanufacturing-Prozesses sowie die Fähigkeit, das Produkt je nach Größe und Form während des gesamten Remanufacturing-Prozesses zu transportieren (Kurilova-Palisaitiene et al., 2020, S. 269). Das Ziel dieses Schrittes besteht darin, herauszufinden, ob sich ein Produkt für Remanufacturing eignet oder welche Maßnahmen zu ergreifen sind, um die Eigenschaften eines Produktes so anzupassen, damit es dem Remanufacturing-Prozess zugeführt werden kann.

## Schritt 2: Reifegrad des Produktionssystems hinsichtlich Remanufacturing



Abbildung 30: Schritt 2 Vorgehensmodell

Der vorherige Schritt befasst sich mit dem Produkt und in Schritt 2 folgt logischerweise das Produktionssystem und die Bewertung, dessen Reifegrades, für Remanufacturing. Hierbei ist es später in der Umsetzung des Vorgehensmodells wesentlich, welche Produktionsschritte im Unternehmen bereits bestehen und welche zusätzlich, für die Anwendung von Remanufacturing, einzuführen sind. Der Produktionsprozess bzw. das Produktionssystem stellen eine wesentliche Herausforderung in der Umsetzung von Remanufacturing dar (Kurilova-Palisaitiene et al., 2018, S. 3229). Daher ist die Eignung des Produktionssystems für die Einführung von Remanufacturing wesentlich und ein wichtiger Bestandteil des Vorgehensmodells.

Das Produktionssystem ist der umfangreichste Punkt für ein effektives Funktionieren des Remanufacturing-Prozesses. Das Remanufacturing-Produktionssystem umfasst bei Produktionsunternehmen auch die Bereiche Service, Wartung, Refurbishment, Remanufacturing oder Recycling. Die Lieferkette regelt die Verbindungen und Entfernungen zwischen dem Remanufacturingunternehmen, seinen Lieferanten und seinen Kunden. Organisation und Management zeichnen für organisatorische Ziele, sowie Arbeitswissen und Arbeitskapazität, verantwortlich. Zu den Produktionsstätten gehören, die für den Remanufacturing-Prozess verfügbaren Flächen und Grundstücke sowie, bei Bedarf, entsprechende Beschaffungsmöglichkeiten. Technologie und Maschinen repräsentiert, sowohl die verfügbare technische Ausrüstung und deren Eignung für den Remanufacturing-Prozess, als auch Möglichkeiten der gezielten Beschaffung zusätzlicher, benötigter, technischer Ausrüstung (Kurilova-Palisaitiene et al., 2020, S. 269). Die Durchführung dieses Schrittes hat zum Ziel, das Produktionssystem für Remanufacturing entsprechend zu gestalten, Kapitel 4.2 geht im Detail darauf ein.

### Schritt 3: Kundennachfrage und Akzeptanz beim Kunden



Abbildung 31: Schritt 3 Vorgehensmodell

Nach der Feststellung, dass das Produkt, der Eignung für Remanufacturing entspricht und das Produktionssystem den Reifegrad für einen erfolgreichen Remanufacturing-Prozess ausweist, behandelt der dritte Schritt den Markt, befasst sich also mit der Nachfrage und Akzeptanz beim Kunden. Die Nachfrage beschäftigt sich mit der Einstellung des Kunden zu einem Remanufacturing-Produkt und der Bereitschaft und dem Bedarf, ein remanufactured Produkt zu erwerben. Die Loyalität des Kunden, gegenüber dem Unternehmen, spielt dabei eine wesentliche Rolle und behandelt die Offenheit sowie Bindung des Kunden an das Unternehmen (Kurilova-Palisaitiene et al., 2020, S. 269). Als Ziel liefert dieser Schritt die Bewertung, wie hoch sich die Kundennachfrage für remanufactured Produkte darstellt und eine Einschätzung, wie akzeptiert Remanufacturing-Produkte bei den Kunden sind.

### Schritt 4: Reifegrad des Geschäftsmodells hinsichtlich Remanufacturing



Abbildung 32: Schritt 4 Vorgehensmodell

Der vierte Schritt beleuchtet den Reifegrad des Geschäftsmodells, des OEMs, für die Einführung von Remanufacturing. Ein für Remanufacturing geeignetes Geschäftsmodell ist essenziell für das langfristig erfolgreiche und lukrative Betreiben von Remanufacturing im Unternehmen. Innovative Geschäftsmodelle, im Bereich von Remanufacturing, haben positiven Einfluss bei der Finanzierung, öffnen den Markt für neue Kunden und ermöglichen neue, wirtschaftliche Potenziale (Burggräf et al., 2021, S. 547). Wichtige, strategische Entscheidungen finden unter diesem Geschäftsmodell ihre Berücksichtigung. Die Geschäftsstrategie befasst sich mit dem Umgang von, für das Remanufacturing, zurückgenommenen Produkten und Remanufacturing-Produkten, wobei zirkuläre oder lineare Geschäftsmodelle zur Anwendung kommen. Marketing und Verkauf stehen für die Verbindung zu externen Stakeholdern und Kunden, sowie deren Einbindung in das Geschäftsmodell (Kurilova-Palisaitiene et al.,

2020, S. 269). Für Schritt 4 wird als Ziel formuliert, ein für Remanufacturing taugliches Geschäftsmodell zu haben, das bestehende bei Notwendigkeit anzupassen oder eines zu entwickeln und etablieren.

### Schritt 5: Analyse und Bewertung ökologischer Auswirkungen



Abbildung 33: Schritt 5 Vorgehensmodell

Die vorangegangenen Schritte befassen sich mit den vorherrschenden Gegebenheiten im Unternehmen, der fünfte Schritt analysiert und bewertet die ökologischen Auswirkungen von Remanufacturing. Positive ökologische Auswirkungen sind ein wichtiger Motivator für Unternehmen im Hinblick auf Kreislaufwirtschaft und somit Remanufacturing (Stiftung Familienunternehmen, 2021, S.52). Unter die ökologischen Auswirkungen fallen die Abfallreduzierung, Wasserverbrauchsreduktion und CO<sub>2</sub>-Emissionsreduzierung. Die Abfallreduzierung misst den vom Remanufacturer produzierten Abfall und Fertigungsausschuss, sowie den Einsatz von recycelten Materialien in der Fertigung (Kurilova-Palisaitiene et al., 2020, S. 269). Das Ziel für diesen Schritt ist es, dass, durch die Einführung von Remanufacturing, positive ökologische Effekte entstehen. Sollte dies aber nicht der Fall sein, wird evaluiert, welche Optimierungsmöglichkeiten bestehen, um positive ökologische Auswirkungen zu gewährleisten.

### Schritt 6: Analyse und Bewertung sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen



Abbildung 34: Schritt 6 Vorgehensmodell

Im sechsten und letzten Schritt des Vorgehensmodells zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen, kommt es zur Analyse und Bewertung sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen auf das OEM. Für die wirtschaftliche Nachhaltigkeit von Remanufacturing für das Unternehmen ist, vor allem, die Gewinnmarge auf Remanufacturing-Produkte von Bedeutung. Die Gewinnmarge veranschaulicht die wirtschaftliche Relevanz von Remanufacturing für das Produktionsunternehmen. Die sozialen Auswirkungen werden, anhand der möglichen zusätzlichen Arbeitsplätze, für

den Remanufacturing-Prozess analysiert und bewertet (Kurilova-Palisaitiene et al., 2020, S. 269). Schritt 6 hat zum Ziel, positive, soziale und wirtschaftliche Auswirkungen zu bewerkstelligen. Bei einem, davon abweichenden Ergebnis, kommen entsprechende Adaptierungen zur Anwendung.

Die Konzeption umfasst somit 6 Schritte, welche die relevanten Bereiche, für die Einführung von Remanufacturing in einem Produktionsunternehmen, darstellen. Im nächsten Kapitel wird die genaue Umsetzung des jeweiligen Schrittes im Unternehmen beschrieben.

## 4.2 Umsetzung des Vorgehensmodells

Für die reibungslose Umsetzung des Vorgehensmodells zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen im Unternehmen ist eine Person zu bestimmen, welche sich für die Umsetzung verantwortlich zeigt. Diese Person wird damit betraut, den gesamten Einführungsprozess zu begleiten und umzusetzen, unter zur Hilfenahme des in dieser Arbeit entwickelten Vorgehensmodells. Dieses Kapitel beschreibt, welche konkreten Aktionen, im jeweiligen Schritt des Vorgehensmodells (siehe Abbildung 35), durchzuführen sind, um es erfolgreich und zielorientiert umzusetzen.



Abbildung 35: Schritte Vorgehensmodell

Die Umsetzung des jeweiligen Schrittes erfolgt in Anlehnung an die bewährte Methode des PDCA-Zyklus. Der PDCA-Zyklus oder auch Deming-Kreis genannt ist ein iterativer vierphasiger Problemlösungsprozess. Jede Tätigkeit soll nach dem gleichen einfachen und eingängigen Zyklus zur Problemlösung durchlaufen werden. Der Zyklus besteht aus den Aktivitäten Plan (Planen), Do (Durchführen), Check (Ergebniskontrolle) und Act (Agieren, Bewerten) (VDI 2870-2, 2013, S. 61). Bei Bedarf wiederholt sich der Zyklus, im Zuge dieses Vorgehensmodells, wenn Check nicht das gewünschte Ergebnis liefert. Jeder Schritt verfügt über seinen eigenen PDCA-Zyklus. Die allgemeine Beschreibung der Vorgehensweise erfolgt im nächsten Absatz.

Die erste Phase lautet P – Planen, es folgt der Entwurf der Planung aufgrund des im jeweiligen Schritt zu lösenden Problems. Die Planung umfasst die betrachteten Prozesse und Aufgaben. Während dieser Phase sind die folgenden Tätigkeiten durchzuführen: Themen gemäß der Zielvorgabe wählen, Daten sammeln, Ziele festlegen, Kennzahlen zur Erfolgsmessung definieren und messen, Lösungsideen sammeln und Lösungsmethoden festlegen, Aktionsplan erstellen und Aufgaben



festlegen (wer, was, wo, wann) (VDI 2870-2, 2013, S. 61). Die Planung erfolgt für jeden Schritt einzeln, somit legt die Vorgehensweise für den jeweiligen Schritt die nötigen Aufgaben fest.

Als zweite Phase des PDCA-Zyklus folgt D – Durchführen. Diese Phase kennzeichnet, dass die einzelnen geplanten Aufgaben umgesetzt und Zwischenergebnisse eruiert werden (VDI 2870-2, 2013, S. 61). Die erfolgreiche Durchführung der Aufgaben erfolgt anhand der in späterer Folge vorgestellten Tools. Jedem Schritt werden zur Durchführung entsprechende Tools zugewiesen.

Die dritte Phase lautet C – Ergebniskontrolle. Hier wird anhand der Kennzahlen überprüft und dokumentiert, welche Ergebnisse die geplanten Aktivitäten liefern (VDI 2870-2, 2013, S. 61). Die Resultate liefern die verwendeten Tools aus der Phase D.

In der abschließenden Phase A – Agieren, Bewerten werden die Aufgaben zusammengefasst, die Ergebnisse überprüft und bei Bedarf der PDCA neu initiiert (VDI 2870-2, 2013, S. 61). Liefert die Bewertung das gewünschte Ergebnis, so folgt der nächste Schritt im Vorgehensmodell, ist dies nicht der Fall wird ein neuer PDCA-Zyklus mit dem Ziel gestartet, entsprechende Anpassungen durchzuführen, um die gewünschten Ergebnisse zu erreichen. Diese Vorgehensweise hat den Vorteil, dass jeder Schritt erfolgreich abgeschlossen wird und das Vorgehensmodell, als Ergebnis, immer die gelungene Einführung von Remanufacturing-Prozessen liefert.

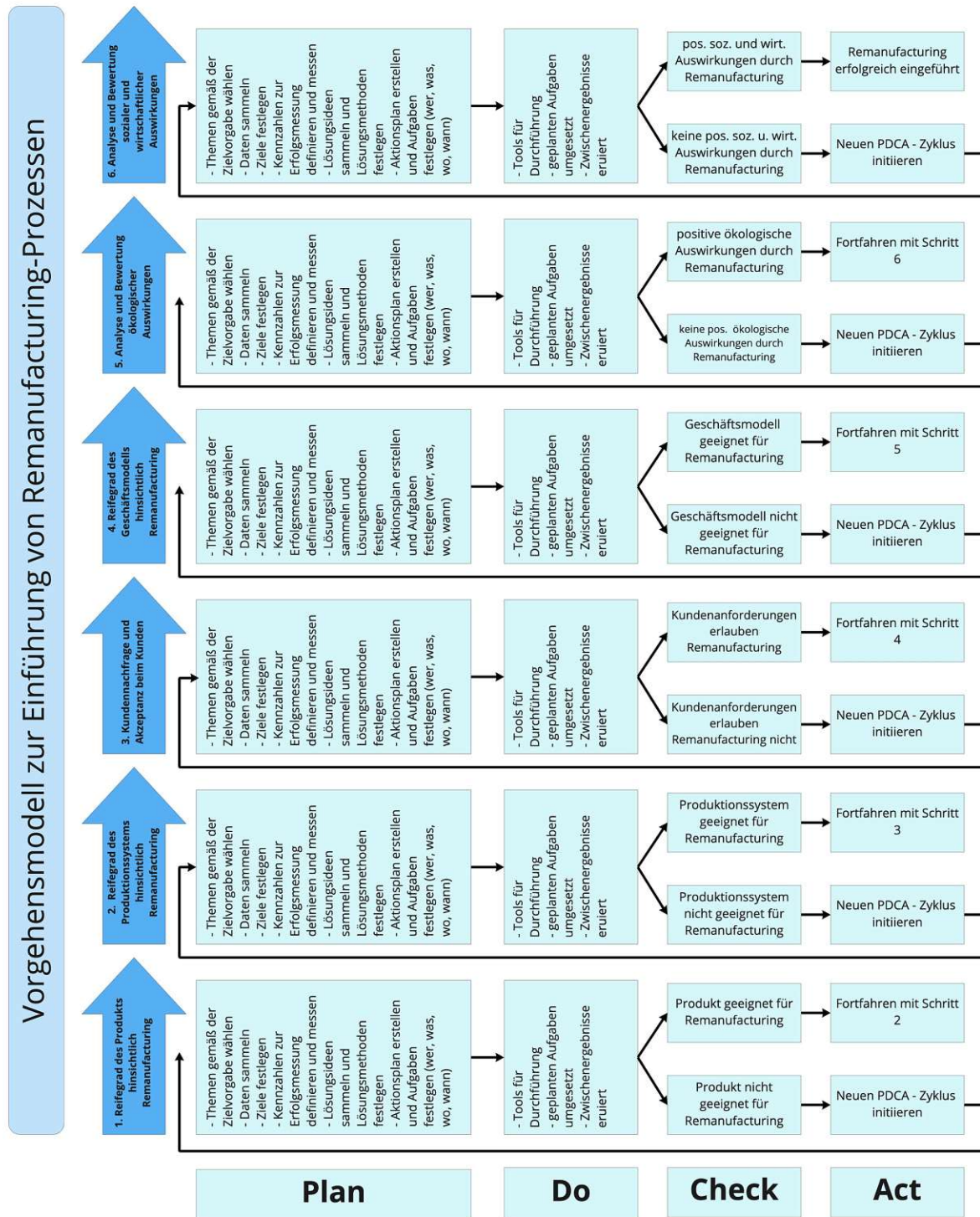


Abbildung 36: Vorgehensmodell „Generelle Darstellung der Schritte“

Abbildung 36 liefert einen generellen Überblick über das Vorgehensmodell, wobei die Schritte und der generische PDCA-Zyklus für jeden Schritt veranschaulicht werden. Im nächsten Abschnitt folgt die Umsetzung des PDCA-Zyklus beziehungsweise der PDCA-Zyklen für jeden Schritt.

## 4.2.1 Schritt 1: Reifegrad des Produkts hinsichtlich Remanufacturing

Der erste Schritt im Vorgehensmodell beschäftigt sich mit dem Produkt, für welches das Unternehmen Remanufacturing einführen will. Im ersten PDCA-Zyklus folgt eine Bewertung des Reifegrades des Produktes für Remanufacturing. Sofern das Produkt einen niedrigen Reifegrad aufweist, folgt ein zweiter PDCA-Zyklus. Der 2. Zyklus beschäftigt sich dann mit der Anpassung des Produktes, damit ein zufriedenstellender Reifegrad für Remanufacturing gewährleistet ist. Für den Fall, dass der zweite oder x-te PDCA-Zyklus nicht das gewünschte Ergebnis liefert, wiederholt sich der Zyklus, bis ein passender Reifegrad vorliegt.

### Es folgt die Beschreibung des ersten PDCA-Zyklus:

#### Plan

Das Ziel ist es, den Reifegrad des Produktes für Remanufacturing zu bestimmen. Die benötigten Produktdaten und -informationen sind zu eruiieren. Die relevanten Stakeholder zur Durchführung dieses Zyklus sind festzulegen. Dabei soll es sich in erste Linie um Personen handeln, die eine leitende Funktion in Bezug auf das Produkt innehaben. Als Tool für die Bestimmung des Reifegrades kommt eine Bewertungsmatrix zur Anwendung. Die Tabelle 17 zeigt diese Bewertungsmatrix.

Tabelle 17: Bewertungsmatrix Produkt (vgl. Herrmann & Vetter, 2021, S. 39)

Thema	Punktzahl 1 Beispiel- antwort:	Punktzahl 2 Beispiel- antwort:	Punktzahl 3 Beispiel- antwort:	Punktzahl 4 Beispiel- antwort:
1. Materialdeklarationen verfügbar/ Identifikation von Materialien leicht möglich	Materialien unbekannt	Materialien selten bekannt	oft gegeben, exklusive mancher Materialien	Dokumentation aller Materialien vorhanden
2. Identifikation von Modulen leicht möglich	Keine Module identifizierbar	Hohe Produktintegration, Module selten unterscheidbar	Module gut unterscheidbar, innerhalb von Modulgruppen keine Modularität	Dokumentation vorhanden, überschaubare Produktvielfalt, modularer Aufbau
3. umweltkritische, gefährliche und toxische Stoffe (auch bei Handling, Gefährdung von Mitarbeitern)	Hohe und gefährliche Belastung bei Bauteilen	Relevante Belastung bei einzelnen Bauteilen	Minimale Belastung bei einzelnen Bauteilen	Manche Stoffe müssen entfernt werden,

				explizit deklariert mit Warn- hinweisen
4. Gesamtprodukt wiederverwendbar – effizienter Ausbau und Austausch von nicht wiederverwendbaren Modulen	Produkt nicht wieder- verwend- bar, zerstör- ungsfreier Ausbau und Austausch von Modulen nicht möglich	selten, da hoch- integriert, einzelne Module durchaus tauschbar und upgrade- fähig, zerstörungs- freier Austausch üblicher- weise schwierig	gegeben, aber Produkt nicht auf Wieder- verwendung optimiert, teilweise komplexe Module	klar identifizier- bar und zerlege- fähig, Wartung erhält das Produkt zur Gänze
5. Gesamtprodukt nicht wiederverwendbar – effiziente Entnahme wiederverwendbarer Einzelteile	nicht gegeben	schwierig, da hoch- integriert, aber Einzel- kompon- enten sehr gut ausbaufähig	gegeben, aber Produkt nicht auf Wieder- verwendung optimiert, teilweise komplexe Module	klar identifizier- bar und zerlegefähig, Produkt- bestandteile können, nach dem Ende der Lebens- zyklen, als Ersatzteile genutzt werden, gute Austausch- barkeit von Modulen
6. Langlebigkeit von Bauteilen und Modulen	nicht gegeben	regelmäßige Wartung und Überholung nötig/ vor- geschrieben	relativ viele Austausch- teile/ Verschleiß- teile und alle müssen funktion- ieren, Kern- produkt, aber langlebig, gegeben in	gegeben, da bekannt und berück- sichtigt

			Abhängigkeit von der Produktqualität	
7. Updatefähigkeit/ Kompatibilität zu neuen Produktgenerationen	nicht gegeben, abhängig von Modell und Bau- reihe	Anpassungs- fähigkeit auf ähnliche Produkt- familien gegeben	gegeben – innerhalb eines Produkttyps, bei neuen Produkt- typen keine Kompa- tibilität und Update- fähigkeit	gute Update- fähigkeit, technische Kompa- tibilität gegeben (z.B. Standard- isierung)
8. eindeutige Produktzuordnung	nicht möglich	teilweise möglich	Produkt- details identifizier- bar, weitere Information- en und Details nicht verfügbar	hohe Produkt- kenntnis, überschaubare Produkt- variationen, gegeben durch Information- en zu Baujahr und Modellreihe, Bestand bekannt
9. Materialien klar identifizierbar (falls keine Materialdeklaration)	nicht gegeben; Materialen eventuell visuell identifizier- bar	nicht gegeben, eher überschaubare Material- möglichkeiten, Tendenz nimmt zu, Materialien nicht wichtig, eher die Mo- dule/ Bauteile sind wichtig	gegeben für größere Module, aber exklusive mancher Materialien	Materialien für das gesamte Produkt leicht identifizier- bar beziehungs- weise genaue Dokumen- tation vorhanden

10. Alter und Zustand identifizierbar (technisch/ Dokumentation)	nicht gegeben	nicht gegeben, optische Bewertung möglich	grundsätzlich möglich, durch Produktzuordnung, Zuständen oder Materialermüdung nicht möglich zu identifizieren	gegeben, Dokumentation, Monitoring, Serviceverträge, Informationen zu Baujahr und Modellreihe
11. gute Sortierbarkeit ausgebauter Module	nicht gegeben, durch hohe Produktvielfalt	teilweise gegeben, sehr individuelle Produkte	Dokumentation nach Ausbau erforderlich, wenn Identifikation stattfand, dann eindeutige Lagerung möglich	gegeben, überschaubare Produktvielfalt, gute Sortierbarkeit, nach Ausbau gegeben
12. Standardisierung Module	nicht gegeben	teilweise gegeben, hohe Typenvielfalt, sehr individuelle Produkte, Standardisierung nicht gegeben	grundsätzlich gegeben, außer bei manch hoher Integration von Modulen	gegeben, hohe Standardisierung, überschaubare Anzahl von Produktvariationen

In der Bewertungsmatrix finden sich Beispielantworten zu jedem Thema, welche mit Punkten von 1 bis 4 versehen sind. Wenn man zwischen zwei Beispielantworten schwankt, kommen halbe Punkte zum Einsatz. Zum Beispiel, beim Abwägen zwischen Beispielantwort mit einem Punkt bzw. zwei Punkten, kann als Punktzahl 1,5 herangezogen werden. Die Summe der Punktzahlen zu allen Themen ergibt die Gesamtpunktzahl. Die geringste beträgt somit 12 und die maximale 48. Ab einer Gesamtpunktzahl von größer oder gleich 24 ist das Produkt für Remanufacturing geeignet.

Die Aufgaben sind an den jeweiligen Stakeholder zuzuweisen, um die Bewertungsmatrix erfolgreich abzuschließen. Diese Aufgaben sind in einem definierten, zeitlichen Rahmen zu erledigen.

### **Do**

Durchführen der festgelegten Aufgaben durch die jeweiligen Stakeholder. Ausarbeitung und Dokumentation der Bewertungsmatrix.

### **Check**

Bestimmung der Gesamtpunktzahl aus der Bewertungsmatrix.

### **Act**

Vergleich der erreichten Gesamtpunktzahl mit der Zielpunktzahl von größer oder gleich 24. Wurde die Zielpunktzahl erreicht, so geht es weiter im Vorgehensmodell zu Schritt 2. Bei Unterschreitung der Gesamtpunkanzahl von 24 erfolgt die Initiierung eines neuen PDCA-Zyklus.

## **Beschreibung von PDCA-Zyklus 2 für Schrittnummer 1:**

### **Plan**

Dieser 2. PDCA-Zyklus hat zum Ziel, das Produkt anzupassen, damit es sich für Remanufacturing eignet. Dabei ist es wichtig, das Produktentwicklungsteam mit an Bord zu holen. Für die Realisierung der Produktadaptierung für Remanufacturing stehen folgende Lösungsmethoden zur Verfügung: Module Configurator for the Development of Products for Ease of Remanufacturing (Seliger et al., 2007), Coherent Design Rationale and its importance to the Remanufacturing Sector (Barker & King, 2007), Customised design of remanufactured products (Cao et al., 2012), Design process model to support the design of sustainable remanufactured products (Goepf et al., 2014), The modular grouping explorer tool (Tchertchian et al., 2013).

### **Do**

Durchführen der festgelegten Aufgaben, mithilfe der unter Plan vorgestellten Tools zur Problemlösung, durch die jeweiligen Stakeholder. Ausarbeitung und Dokumentation der geplanten Produktpassungen, damit das Produkt wiederaufarbeitbar wird. Mit dem überarbeiteten Produkt wird dann die Bewertungsmatrix, laut Tabelle 17, abermals ausgearbeitet und dokumentiert.

### **Check**

Bestimmung der Gesamtpunkanzahl aus der Bewertungsmatrix.

### **Act**

Vergleich der erreichten Gesamtpunkanzahl mit der Zielpunkanzahl von größer oder gleich 24. Wurde die Zielpunkanzahl erreicht geht es weiter im Vorgehensmodell zu

Schritt 2. Bei Unterschreitung der Gesamtpunktzahl von 24 erfolgt die Initiierung eines neuen PDCA-Zyklus, mit den gleichen Zielen wie in PDCA-Zyklus 2.

## 4.2.2 Schritt 2: Reifegrad des Produktionssystems hinsichtlich Remanufacturing

In diesem 2. Schritt behandelt das Vorgehensmodell den Reifegrad des Produktionssystems in Bezug auf Remanufacturing. Der erste PDCA-Zyklus zeichnet das aktuelle Produktionssystem auf und evaluiert, ob dieses die entsprechende Reife für Remanufacturing aufweist. Entspricht das Produktionssystem nicht den Anforderungen, um Remanufacturing zu betreiben, wird ein zweiter PDCA-Zyklus initiiert. Dieser 2. Zyklus verfolgt die Adaptierung des Produktionssystem, um eine Eignung für Remanufacturing zu gewährleisten. Für den Fall, dass der zweite oder x-te PDCA-Zyklus nicht das gewünschte Ergebnis liefert, wiederholt sich der Zyklus, bis ein für Remanufacturing-Prozesse geeignetes Produktionssystem vorliegt.

**Der erste PDCA-Zyklus für den 2. Schritt gestaltet sich, folgendermaßen:**

### Plan

Die Zielvorgabe lautet, zu evaluieren, ob das aktuelle Produktionssystem alle nötigen Prozessschritte vorweist, um Remanufacturing zu betreiben. Für die Aufzeichnung des Produktionssystems eignet sich als Methodik eine Wertstromanalyse. Diese erzeugt eine logistische Kette bezüglich dem Fertigungsfluss. Bei der Dokumentation des Istzustands werden Material- und Informationsflüsse aufgenommen (VDI 2870-2 2013, S. 76). Als praktikabel erweist es sich, mit allen relevanten Stakeholdern durch die Produktion zu spazieren und die Wertstromanalyse durchzuführen. Nach deren Durchführung erfolgt ein Abgleich mit dem Remanufacturing-Prozess. Bei diesem Vergleich wird überprüft, ob im aktuellen Produktionssystem alle nötigen Prozessschritte des Remanufacturing-Prozesses vorliegen. Kurz gesagt, es folgt ein Abgleich der Wertstromanalyse mit dem in Abbildung 17 dargestellten Remanufacturing-Prozess. Daher bedarf es einer Rücknahmelogistik sowie einer Eruerung, ob die Prozessschritte Demontage, Reinigung, Prüfung, Aufbereitung und Remontage im Unternehmen vorhanden und gegebenenfalls für Remanufacturing erweiterbar sind.

### Do

Die Wertstromanalyse wird anhand der Produktion aufgezeichnet. Abbildung 37 zeigt exemplarisch eine Wertstromanalyse.



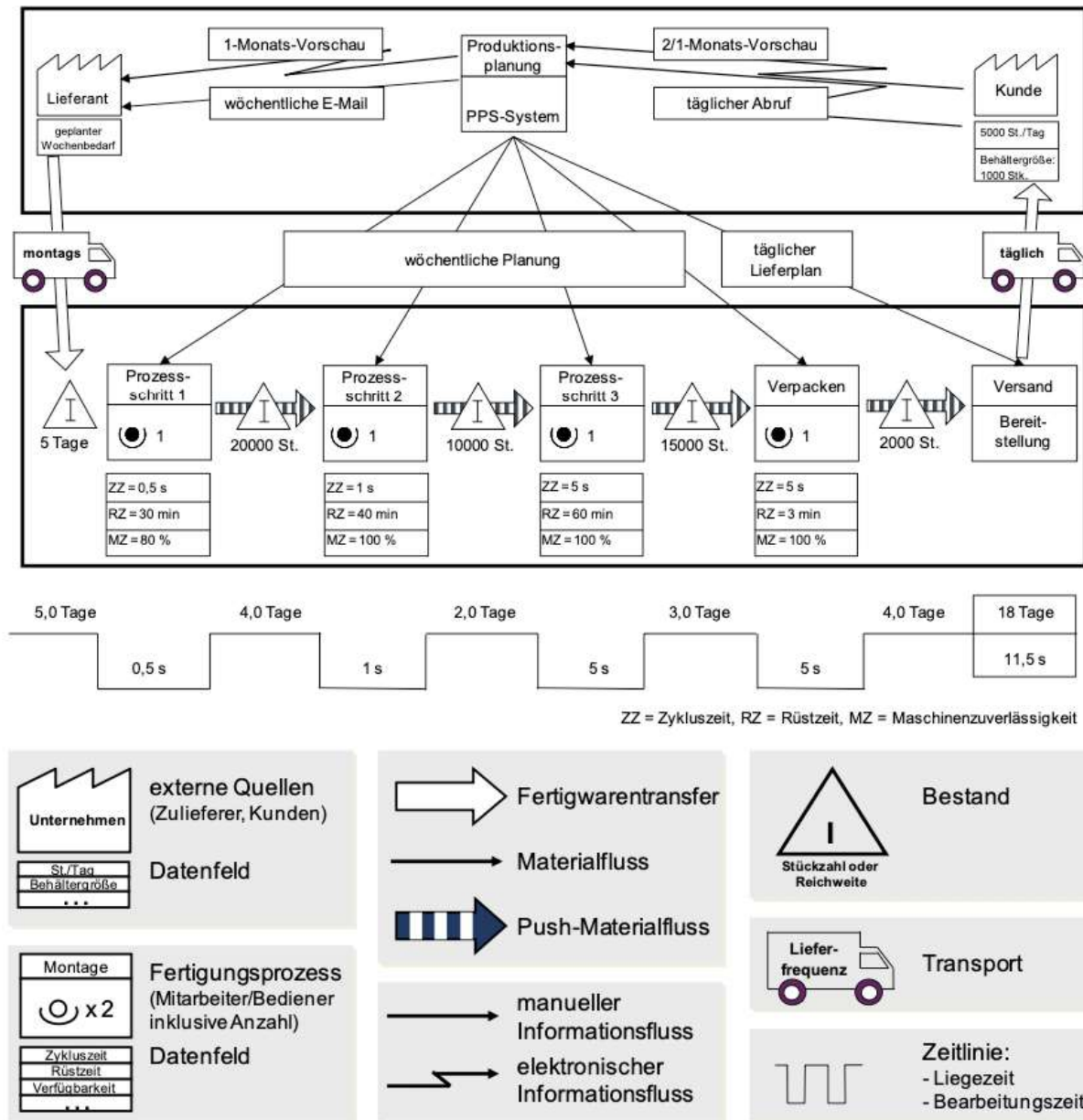


Abbildung 37: Beispiel Wertstromanalyse (VDI 2870-2, 2013, S. 77).

**Check**

Es folgt die Dokumentation und Überprüfung der Wertstromanalyse. Der Abgleich von Wertstromanalyse und nötigen Remanufacturing-Prozessschritten ist die nächste Aufgabe. Gegebenenfalls wird dokumentiert, welche Prozessschritte im aktuellen Produktionssystem fehlen, um Remanufacturing betreiben zu können.

**Act**

Wenn die Dokumentation fehlende Prozessschritte für Remanufacturing eruiert, kommt es zur Initiierung eines 2. PDCA-Zyklus. Verfügt das Produktionssystem aber andererseits bereits über alle für Remanufacturing erforderlichen Prozessschritte, so wird mit Schritt 3 fortgefahren.

## Darstellung des 2. PDCA-Zyklus für Schritt 2:

### Plan

Das Ziel lautet, eine detaillierte Planung für die Anpassung des Produktionssystems hinsichtlich Remanufacturing vorzunehmen. Die für die Planung benötigten Stakeholder werden definiert. Aus der Dokumentation von PDCA-Zyklus eins gehen die fehlenden Prozessschritte hervor, welche angedacht sind, ins Produktionssystem aufgenommen zu werden. Die Erfolgsmessung geschieht anhand der Gegenüberstellung des geplanten neuen Wertstroms und des Remanufacturing-Prozesses.

Die verfügbare, technische Ausrüstung ist auf deren Eignung für den neuen Wertstrom zu überprüfen und gegebenenfalls hat die Planung der Beschaffung zusätzlicher, benötigter, technischer Ausrüstung zu erfolgen. Weiters ist zu überprüfen, ob die aktuelle Produktionsstätte für den neuen Wertstrom ausreichend ist oder die Planung, zur Beschaffung neuer Flächen und Grundstücke, erforderlich wird.

### Do

Erstellung des neuen Wertstroms - ein Beispiel dafür findet seine Darstellung in Abbildung 38 – und Umsetzung der geplanten Aufgaben.

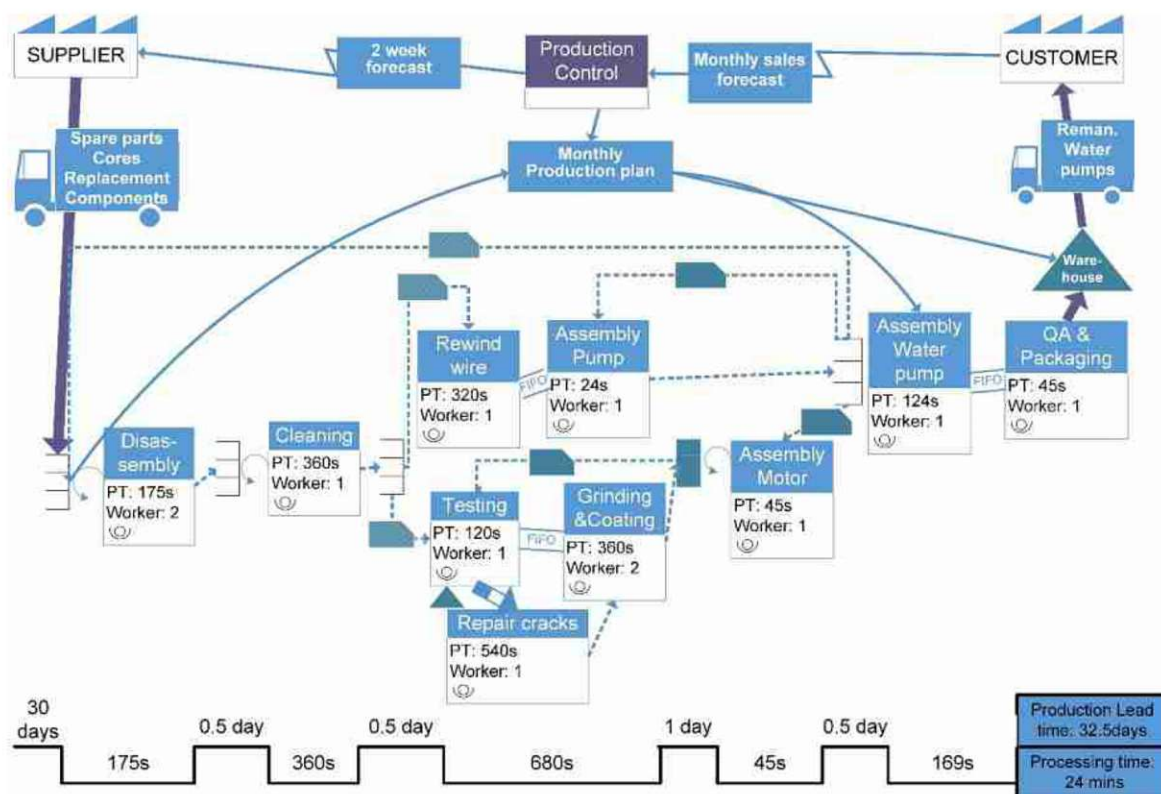


Abbildung 38: Remanufacturing Wertstromanalyse (Guidat, 2017, S. 141).

### Check

Es folgt die Dokumentation und Überprüfung des geplanten neuen Wertstroms. Der

Abgleich von Wertstrom und nötigen Remanufacturing-Prozessschritten ist die nächste Aufgabe. Gegebenenfalls wird dokumentiert, welche Prozessschritte im aktuellen Produktionssystem fehlen, um Remanufacturing betreiben zu können.

### **Act**

Wenn die Dokumentation fehlende Prozessschritte für Remanufacturing eruiert, kommt es zur Initiierung eines 3. PDCA-Zyklus. Sollte ein 3. PDCA-Zyklus benötigt werden, so erfolgt dieser nach dem gleichen Schema, wie der PDCA-Zyklus 2. Verfügt der neue Wertstrom aber andererseits schon über alle für Remanufacturing nötigen Prozessschritte, wird mit Schritt 3 fortgefahren.

### **4.2.3 Schritt 3: Kundennachfrage und Akzeptanz beim Kunden**

Der dritte Schritt im Vorgehensmodell beschäftigt sich mit der Kundennachfrage und Akzeptanz beim Kunden für remanufactured Produkte. Im ersten PDCA-Zyklus erfolgt eine Bewertung der Nachfrage und Akzeptanz vom Kunden. Sofern diese negativ ausfällt, wird ein zweiter PDCA-Zyklus initiiert. Der 2. Zyklus beschäftigt sich mit möglichen Aktionen, die gesetzt werden können, um die Kundennachfrage und Kundenakzeptanz für Produkte aus Remanufacturing zu erhöhen. Für den Fall, dass der zweite oder x-te PDCA-Zyklus nicht das gewünschte Ergebnis liefert, wiederholt sich der Zyklus, bis eine zufriedenstellende Lösung vorliegt.

#### **Es folgt die Beschreibung des ersten PDCA-Zyklus:**

### **Plan**

Das Ziel ist, die Kundennachfrage und Akzeptanz beim Kunden für Produkte aus Remanufacturing zu bewerten. Die benötigten Kundendaten und -informationen sind zu eruiieren. Die relevanten Stakeholder zur Durchführung dieses Zyklus sind festzulegen. Dabei soll es sich in erste Linie um Personen handeln, die eine leitende Funktion im Vertrieb und somit direkten Kontakt zum Kunden haben. Als Tool für die Beurteilung kommt eine Bewertungsmatrix zur Anwendung. Die Tabelle 18 zeigt diese.

Tabelle 18: Bewertungsmatrix Kunden (vgl. Kurilova-Palisaitiene, 2021, S. 95)

Thema	Punktzahl 1 Beispiel- antwort:	Punktzahl 2 Beispiel- antwort:	Punktzahl 3 Beispiel- antwort:	Punktzahl 4 Beispielantwort:
<p>1. Kundenakzeptanz und -nachfrage für remanufactured Produkte. Inwieweit verfügen Kunden über Wissen zu remanufactured Produkten? Wie gestaltet sich die Nachfrage der Kunden nach einem remanufactured Produkt?</p>	<p>Dem Kunden sind remanufactured Produkte nicht bekannt. Kunden haben kein Interesse an remanufactured Produkten.</p>	<p>Steigende Nachfrage nach gebrauchten Produkten. Produkte werden repariert und auf einem Gebrauchtmarkt für einen erheblichen Betrag verkauft, etwa der Hälfte des Preises des Originalprodukts.</p>	<p>Das Produkt wird remanufactured und um ca. drei Viertel des ursprünglichen Produktpreises verkauft oder verleast. Wachsendes Kundeninteresse an remanufactured Produkten mit Garantie.</p>	<p>Das Produkt befindet sich in einem ständigen Kreislauf, die Kundennachfrage ist hoch. Gleicher Preis wie Originalprodukt oder höher, aufgrund von technologischem Upgrade oder Umweltfreundlichkeit, mit mindestens einem Jahr Garantie, alternativ durch Bereitstellung über Leasing. Remanufactured Produkte gelten als gleichwertig oder besser, als neu hergestellte Produkte, außerdem sind sie umweltfreundlich.</p>
<p>2. Zugang des Kunden zu remanufactured Produkten und Akzeptanz von remanufactured Produkten. Was sind die Bezugskanäle des Kunden für remanufactured Produkte?</p>	<p>Kein Verkauf/ Leasing von remanufactured Produkten, daher keine Bezugskanäle für Kunden. Kunden haben eine negative Einstellung zu remanu-</p>	<p>Sporadischer, unregelmäßiger Verkauf gebrauchter Produkte nach einigen Reparaturen, sehr begrenzte Bezugskanäle für Kunden. Es</p>	<p>Regelmäßiger Verkauf/ Leasing von remanufactured Produkten über verschiedene Kanäle: E-Kanäle, Direktverkauf, per Telefon und E-Mail. Kunden stehen remanufactured Produkten positiv</p>	<p>Leasing von remanufactured Produkten über verschiedene Kanäle: E-Kanäle, Direktverkauf, per Telefon und E-Mail. Flexible Alternativen für Produkt-austausch, Leasing und gemeinsame Nutzung</p>

Inwieweit akzeptieren die Kunden remanufactured Produkte?	factured Produkten.	wird keine lange Garantie gewährt. Kunden stehen remanufactured Produkten neutral gegenüber. Mögliche Bedenken in Bezug auf Lebenserwartung, Aussehen oder Performance. Remanufactured Produkte werden, im Vergleich zu Neuprodukten, als minderwertig empfunden.	gegenüber. Remanufactured Produkte gelten als so gut wie neue Produkte aufgrund hoher Produktqualität, hochwertigem Aussehen und zufriedenstellender Performance.	zwischen Industrie und Gesellschaft. Remanufactured Produkte werden von den Kunden priorisiert. Remanufactured Produkte gelten als so gut wie neu oder sogar besser, aufgrund hoher Produktqualität, hochwertigem Aussehen und zufriedenstellender Performance.
3. Kundenbindung an Originalmarke. Inwieweit sind die Kunden der Originalmarke treu?	Keine Loyalität: Nutzt nach dem Kauf keine Serviceangebote und geht keine zukünftigen Verpflichtungen ein. Kann Produkte anderer Marken bevorzugen.	Neutraler Kunde, nutzt teilweise Serviceangebote, ist für den Kauf andere Marken offen.	Treue Kunden, Originalmarke ist die erste Wahl der Kunden, kauft nur im Ausnahmefall andere Marken.	Kunden, die sich der Marke verschrieben haben, kaufen nur diese Produkte.

In der Bewertungsmatrix finden sich Beispielantworten zu jedem Thema, welche mit Punkten von 1 bis 4 versehen sind. Wenn man zwischen zwei Beispielantworten schwankt, kommen halbe Punkte zum Einsatz. Zum Beispiel, beim Abwägen zwischen Beispielantwort mit einem Punkt bzw. zwei Punkten, kann als Punktzahl 1,5 herangezogen werden. Die Summe der Punktzahlen zu allen Themen ergibt die Gesamtpunktzahl. Die geringste beträgt somit 3 und die maximale 12. Ab einer Gesamtpunktzahl von größer oder gleich 6 ist die Akzeptanz beim Kunden und Kundennachfrage für Remanufacturing-Produkte ausreichend gegeben.

Die Aufgaben sind an den jeweiligen Stakeholder zuzuweisen, um die Bewertungsmatrix erfolgreich abzuschließen. Diese Aufgaben sind in einem definierten, zeitlichen Rahmen zu erledigen.

### **Do**

Durchführen der festgelegten Aufgaben durch die jeweiligen Stakeholder. Ausarbeitung und Dokumentation der Bewertungsmatrix.

### **Check**

Bestimmung der Gesamtpunktzahl aus der Bewertungsmatrix.

### **Act**

Vergleich der erreichten Gesamtpunktzahl mit der Zielpunktzahl von größer oder gleich 6. Wurde die Zielpunktzahl erreicht, so geht es weiter im Vorgehensmodell zu Schritt 4. Bei Unterschreitung der Gesamtpunktzahl von 6 erfolgt die Initiierung eines neuen PDCA-Zyklus.

## **Beschreibung von PDCA-Zyklus 2 für Schrittnummer 3:**

### **Plan**

Dieser 2. PDCA-Zyklus hat zum Ziel, beim Kunden Akzeptanz für Remanufacturing-Produkte zu schaffen und die Kundennachfrage für diese, zu erhöhen. Dabei ist es wichtig, das Vertriebs- und Marketingteam mit an Bord zu holen. Für Steigerung der Kundennachfrage und Kundenakzeptanz, in Bezug auf Remanufacturing, erachtet es sich als wichtig, die Bedürfnisse der Kunden zu verstehen. Folgende Konzepte können für die Lösungsfindung herangezogen werden, Concept Map, Charette, Nutzerinterviews, Nutzersicht formulieren, Persona beschreiben, Storytelling (Osann & Mattheis 2021, S.7 – 8).

### **Do**

Durchführen der festgelegten Aufgaben durch die jeweiligen Stakeholder. Ausarbeitung und Dokumentation der geplanten Marketingaktivitäten. Mit den neuen Konzepten wird dann die Bewertungsmatrix, laut Tabelle 18, abermals ausgearbeitet und dokumentiert.

**Check**

Bestimmung der Gesamtpunktzahl aus der Bewertungsmatrix.

**Act**

Vergleich der erreichten Gesamtpunktzahl mit der Zielpunktzahl von größer oder gleich 6. Wurde die Zielpunktzahl erreicht geht es weiter im Vorgehensmodell zu Schritt 4. Bei Unterschreitung der Gesamtpunktzahl von 6 erfolgt die Initiierung eines neuen PDCA-Zyklus, mit den gleichen Zielen wie in PDCA-Zyklus 2.

#### **4.2.4 Schritt 4: Reifegrad des Geschäftsmodells hinsichtlich Remanufacturing**

Dieser Schritt behandelt das Geschäftsmodell des OEMs und prüft seinen Reifegrad in Bezug auf Remanufacturing. Im ersten PDCA-Zyklus erfolgt eine Bewertung des Reifegrades des Geschäftsmodells hinsichtlich Remanufacturing. Sofern es einen zu niedrigen Reifegrad aufweist, folgt ein zweiter PDCA-Zyklus. Der 2. Zyklus beschäftigt sich dann mit der Anpassung des Geschäftsmodells, damit ein zufriedenstellender Reifegrad für Remanufacturing gewährleistet ist. Für den Fall, dass der zweite oder x-te PDCA-Zyklus nicht das gewünschte Ergebnis liefert, wiederholt sich der Zyklus, bis ein passender Reifegrad vorliegt.

**Es folgt die Beschreibung des ersten PDCA-Zyklus:****Plan**

Das Ziel ist es, den Reifegrad des Geschäftsmodells für Remanufacturing, zu bestimmen. Die benötigten Daten und Informationen, bezüglich Rücknahme- und Absatzsituation, sind zu eruieren. Die relevanten Stakeholder zur Durchführung dieses Zyklus sind festzulegen. Dabei soll es sich in erster Linie um Personen, aus dem Management und Vertrieb handeln. Als Tool für die Beurteilung des Reifegrades kommt eine Bewertungsmatrix zur Anwendung. In Tabelle 19 wird diese gezeigt.

Tabelle 19: Bewertungsmatrix Geschäftsmodell (vgl. Herrmann &amp; Vetter, 2021, S. 40)

Thema	Punktzahl 1 Beispiel- antwort:	Punktzahl 2 Beispiel- antwort:	Punktzahl 3 Beispiel- antwort:	Punktzahl 4 Beispiel- antwort:
1. Konstante und planbare Rücknahmemengen	nicht gegeben, da Rücknahme im Grunde nicht existiert	spärlich gegeben, da kein konstanter Zufluss planbar	generell ja, durch Typenvielfalt aber eingeschränkt; durch Serviceverträge planbar, aber Unsicherheit durch fehlendes Rücknahmesystem	Vorschriften zu Wartungszyklen resultieren in planbaren Rücknahmemengen; durch Pfandsystem gegeben
2. Konstanter und planbarer Absatzmarkt	nicht gegeben	spärlich gegeben, nur übliche Marktbedürfnisse	generell ja, durch Typenvielfalt aber eingeschränkt; immer Bedarf und über Preis geregelt	lange Vorlaufzeiten. Was zum Remanufacturing kommt, wird auch verkauft/ bleibt Eigentum der Nutzer; ähnliche Planbarkeit wie beim Absatzmarkt für Neuprodukte, aber andere Zielmärkte
3. Etabliertes und verlässliches Rücknahmesystem hinsichtlich Rücknahme- und Absatzmenge (lebenszyklusübergreifende Produktverantwortung)	nicht gegeben	fast nicht gegeben, da keinerlei Regelung oder Gesetze unterstützen	durch Serviceverträge teilweise planbar	gegeben, Beispiel: über Vertriebspartner



4. Strukturierte Rahmenbedingungen (Gesetze, Vorgaben) des Rücknahmemarktes	nicht gegeben	aktuell keine Vorgaben, aber Novellierung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes könnte hier ansetzen	reine Transferfähigkeit, d.h., Zulassung des Eingangsproduktes bleibt erhalten	gegeben, Beispiel: Sicherheitsvorschriften zu Wartungsintervallen
5. Strukturierte Rahmenbedingungen (Gesetze, Vorgaben) des Absatzmarktes, wie z.B. Zulassungskriterien	nicht gegeben	eher keine Zulassungskriterien; gegeben durch CE-Kennzeichnung, aber im Detail sehr individuell und schwer identifizierbar	reine Transferfähigkeit, d. h., Zulassung des Eingangsproduktes bleibt erhalten	Sicherheitsvorschriften zu Wartungsintervallen
6. Marktakzeptanz aufgearbeiteter Produkte	nicht gegeben	eher nicht, da Akzeptanz über Preis	tendenziell eher hoch, aber fehlendes Nachweis-/Garantiesystem	gute Akzeptanz für remanufactured Produkte, Kunde unterscheidet nicht zwischen Neuware und Remanufacturing-Ware, Funktion als Kernkriterium; Wartung ist gesetzlich vorgeschrieben und aus Sicherheitsgründen notwendig

7. Konkurrenzsituation am Absatzmarkt durch Neuprodukte	viel Konkurrenz am Markt mit einer Vielzahl von Neuprodukten	reiner Repair-Markt, dadurch hohe Konkurrenz durch Neuprodukte; Konkurrenzsituation ist da, aber abhängig von Produktvariante	wachsender Markt, geringe Konkurrenz, kann sich ergeben in Niedriglohnländern, Optik, Preis und Qualität nur teilweise mit Neuprodukt vergleichbar	hohe Auslastung der Hersteller, dadurch kein beliebig schnell hochzufahrendes Produktionsvolumen, lange Wartezeiten, hohe Markteintrittsbarrieren für neue Akteure durch Sicherheitsvorschriften
8. Konkurrenzsituation am Absatzmarkt durch andere remanufactured Produkte	vermehrt Druck auch durch Neuware, die als Remanufacturing-Produkt deklariert wurden, auch Wettbewerber ohne Austausch- und niederer Qualität stellen Problem dar	relativ viele Akteure am Markt, hohe Konkurrenz	Überschaubare Anzahl von Akteuren – hohe Nachfrage, geringe Anzahl von qualifizierten Konkurrenten/ bei Altprodukten gibt es oft die Abwägung zwischen einem gebrauchten Produkt anstelle einer teuren Wartung	bisher kein wahrnehmbarer Konkurrent am Markt ersichtlich; derzeit keine weiteren remanufactured Produkte am Markt

In der Bewertungsmatrix finden sich Beispielantworten zu jedem Thema, welche mit Punkten von 1 bis 4 versehen sind. Wenn man zwischen zwei Beispielantworten schwankt, kommen halbe Punkte zum Einsatz. Die Summe der Punktzahlen zu allen Themen ergibt die Gesamtpunktzahl. Die geringste beträgt somit 8 und die maximale 32. Ab einer Gesamtpunktzahl von größer oder gleich 16 ist das Geschäftsmodell für Remanufacturing geeignet.

Die Aufgaben sind an den jeweiligen Stakeholder zuzuweisen, um die Bewertungsmatrix erfolgreich abzuschließen. Diese Aufgaben sind in einem definierten, zeitlichen Rahmen zu erledigen.

### Do

Durchführen der festgelegten Aufgaben durch die jeweiligen Stakeholder. Ausarbeitung und Dokumentation der Bewertungsmatrix.

### Check

Bestimmung der Gesamtpunktzahl aus der Bewertungsmatrix.

### Act

Vergleich der erreichten Gesamtpunktzahl mit der Zielpunktzahl von größer oder gleich 16. Wurde die Zielpunktzahl erreicht, so geht es weiter im Vorgehensmodell zu Schritt 5. Bei Unterschreitung der Gesamtpunktzahl von 16 erfolgt die Initiierung eines neuen PDCA-Zyklus.

## Beschreibung von PDCA-Zyklus 2 für Schrittnummer 4:

### Plan

Dieser 2. PDCA-Zyklus hat zum Ziel das Geschäftsmodell anzupassen, damit es sich für Remanufacturing eignet. Dabei ist es wichtig, das Management und den Vertrieb mit an Bord zu holen. Zur Lösungsfindung, für die Geschäftsmodelladaptierung hinsichtlich Remanufacturing, eignet sich das in Abbildung 39 dargestellte Framework.

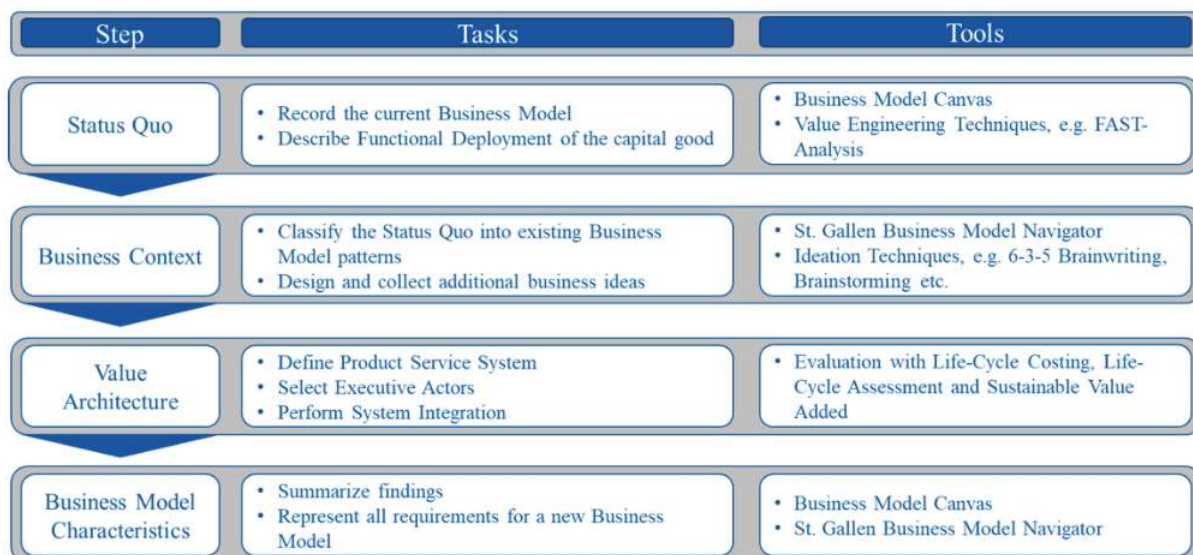


Abbildung 39: Framework zur Adaptierung vom Geschäftsmodell (Burggräf et al., 2021, S. 549)

### Do

Durchführen der festgelegten Aufgaben durch die jeweiligen Stakeholder. Ausarbeitung und Dokumentation der geplanten Geschäftsmodelladaptierungen, damit sich das Geschäftsmodell für Remanufacturing eignet. Mit dem überarbeiteten

Geschäftsmodell wird dann die Bewertungsmatrix, laut Tabelle 19, erneut ausgearbeitet und dokumentiert.

### **Check**

Bestimmung der Gesamtpunktzahl aus der Bewertungsmatrix.

### **Act**

Vergleich der erreichten Gesamtpunktzahl mit der Zielpunktzahl von größer oder gleich 16. Wurde die Zielpunktzahl erreicht, so geht es weiter im Vorgehensmodell zu Schritt 5. Bei Unterschreitung der Gesamtpunktzahl von 16 erfolgt die Initiierung eines neuen PDCA-Zyklus, mit den gleichen Zielen wie in PDCA-Zyklus 2.

## **4.2.5 Schritt 5: Analyse und Bewertung ökologischer Auswirkungen**

Im 5. Schritt des Vorgehensmodells geht es um die Analyse und Bewertung der ökologischen Auswirkungen von Remanufacturing auf das Unternehmen. Der erste PDCA-Zyklus analysiert und bewertet den ökologischen Impact durch Remanufacturing. Entstehen für das OEM positive, ökologische Auswirkungen, gilt dieser Schritt als abgeschlossen und es kann mit Schritt 6 fortgefahren werden. Im Falle keines positiven, ökologischen Impacts, erfolgt die Initiierung des zweiten PDCA-Zyklus. Dieser behandelt die Adaptierung des Produkts, damit positive, ökologische Auswirkungen erzielt werden können. Für den Fall, dass der zweite oder x-te PDCA-Zyklus nicht das gewünschte Ergebnis liefert, wiederholt sich der Zyklus bis ein positiver, ökologischer Impact, durch Remanufacturing, für das Unternehmen vorliegt.

### **Der erste PDCA-Zyklus für den 5. Schritt gestaltet sich wie folgt:**

#### **Plan**

Die Zielvorgabe lautet die ökologischen Auswirkungen von Remanufacturing auf das Unternehmen, zu bewerten. Für die Analyse und Bewertung eignet sich die Methode eines Life Cycle Assessments (Lahrou et al., 2019, S. 558). In der Literatur für die Anwendung von LCA für Remanufacturing-Produkte finden sich zwei Perspektiven die „Unterstützer“ und die „Neutrale“ Perspektive. Die meisten wissenschaftlichen Arbeiten präferieren die „Unterstützer“ Perspektive. Diese Sicht evaluiert den ersten Remanufacturing-Zyklus und beinhaltet nicht, die ökologischen Auswirkungen des Originalprodukts (Lahrou et al., 2019, S. 558). Für die Durchführung des LCA gibt es verschiedene Software-Tools am Markt. Das LCA wird, sowohl für das Originalprodukt, als auch für das Remanufacturing-Produkt durchgeführt. Anschließend folgt der Vergleich, ob das Remanufacturing-Produkt geringere ökologischen Auswirkungen aufweist, als das ursprüngliche Produkt, ist dem so, bedeutet es einen positiven Impact.

**Do**

Das Life Cycle Assessment wird für das Originalprodukt und das Produkt aus dem ersten Remanufacturing-Zyklus vorgenommen.

**Check**

Es folgt die Dokumentation und Überprüfung der beiden LCAs. Der Vergleich der ökologischen Auswirkungen vom Originalprodukt und dem Remanufacturing-Produkt wird durchgeführt.

**Act**

Wenn das LCA einen positiven Impact des Remanufacturing-Produkts gegenüber dem Originalprodukt liefert, so wird mit Schrittnummer 6, des Vorgehensmodells, fortgefahren. Für den Fall, dass das Remanufacturing-Produkt keinen positiven Impact aufweist, wird der 2. PDCA-Zyklus angestoßen.

**Darstellung des 2. PDCA-Zyklus für Schritt 5:****Plan**

Die Zielvorgabe lautet, das Produkt so zu verändern, dass durch Remanufacturing positive ökologische Auswirkungen entstehen. Zum Erreichen dieses Ziels eignen sich die im 2. PDCA-Zyklus von Schritt 1 präsentierten Lösungsmethoden. Für den Abschluss dieses Schrittes ist es wichtig, das Produktentwicklungsteam mit an Bord zu holen. Anschließend folgt ein LCA für das neu entwickelte Originalprodukt und für das neue Remanufacturing-Produkt, wie im ersten PDCA-Zyklus dieses Schrittes beschrieben. Danach erfolgt der Vergleich, ob das Remanufacturing-Produkt geringere, ökologischen Auswirkungen aufweist als das ursprüngliche Produkt, ist dem so, bedeutet das einen positiven Impact.

**Do**

Durchführen der festgelegten Aufgaben durch die jeweiligen Stakeholder. Ausarbeitung und Dokumentation der geplanten Produktanpassungen, damit das Produkt potenziell einen positiven ökologischen Impact liefert. Mit dem überarbeiteten Produkt wird das Life Cycle Assessment für das Originalprodukt und das Produkt aus dem ersten Remanufacturing-Zyklus vorgenommen.

**Check**

Es folgt die Dokumentation und Überprüfung der beiden LCAs. Der Vergleich der ökologischen Auswirkungen vom neu geplanten Originalprodukt und dem neu vorbereiteten Remanufacturing-Produkt folgt.

**Act**

Wenn das LCA einen positiven Impact, des Remanufacturing-Produkts gegenüber dem Originalprodukt, liefert erfolgt Schritt 6, des Vorgehensmodells. Für den Fall, dass das Remanufacturing-Produkt keinen positiven Impact aufweist, wird der 3. PDCA-

Zyklus angestoßen. Sollte ein 3. PDCA-Zyklus benötigt werden, so erfolgt die Durchführung nach dem gleichen Schema, wie beim PDCA-Zyklus 2.

#### **4.2.6 Schritt 6: Analyse und Bewertung sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen**

Der sechste Schritt des Vorgehensmodells behandelt die Analyse und Bewertung von sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen, welche aus der Einführung von Remanufacturing im Unternehmen resultieren. Wenn Remanufacturing zu positiven, sozialen und wirtschaftlichen Implikationen beim Produktionsunternehmen, führt, bedeutet das, dass der 6. und somit letzte Schritt erfolgreich abgeschlossen ist. Dieses Resultat heißt, das Vorgehensmodell gilt als gelungen beendet. Somit kennt das Produktionsunternehmen alle Aufgaben, die gegebenenfalls umzusetzen sind und es steht effektiven Remanufacturing-Prozessen im Unternehmen nichts mehr im Wege. Beim Auftreten der Situation, dass kein positiver, wirtschaftlicher und/oder sozialer Effekt erzielt wird, kommt es zum Durchlaufen eines 2. PDCA-Zyklus. Dieser beschäftigt sich mit notwendigen Anpassungen, um positive soziale und/oder wirtschaftliche Auswirkungen zu erzielen. Für den Fall, dass aus dem zweiten oder x-ten PDCA-Zyklus kein gefordertes Ergebnis resultiert, wiederholt sich der Zyklus, bis ein positiver, sozialer und wirtschaftlicher Impact, durch Remanufacturing, für das Unternehmen entsteht.

**Für den 6. Schritt vom Vorgehensmodell lautet der 1. PDCA-Zyklus folgendermaßen:**

##### **Plan**

Das Ziel dieses Schrittes besteht in der Analyse und Beurteilung der wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen von Remanufacturing im Unternehmen. Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Remanufacturing eignet sich die Analyse der Profitmarge (Kurilova-Palisaitiene et al., 2020, S. 269). Die sozialen Auswirkungen bestimmen sich anhand von Beschäftigungseffekten durch Remanufacturing (Kurilova-Palisaitiene et al., 2020, S. 269). Der wirtschaftliche Impact wird als positiv bewertet, wenn die Profitmarge vom Remanufacturing-Produkt größer oder gleich jener vom Originalprodukt ist. Ein positives soziales Ergebnis liegt vor, wenn die Einführung von Remanufacturing-Prozessen neue Arbeitsplätze schafft.

##### **Do**

Berechnung der Profitmarge für das Originalprodukt und das Remanufacturing-Produkt. Aufzeichnung der Anzahl der Arbeitsplätze aus dem Produktionsprozess für das Originalprodukt und für das Remanufacturing-Produkt. Dabei unterstützen die in Schritt 2 erstellten Wertstromanalysen.

**Check**

Es folgt die Dokumentation und Überprüfung der Profitmargen und Arbeitsplatzsituation. Der Vergleich von Profitmarge und Arbeitsplätzen zwischen Originalprodukt und Remanufacturing-Produkt wird durchgeführt.

**Act**

Wenn ein positiver Impact auf Wirtschaftlichkeit und Arbeitsplätze vom Remanufacturing-Produkt, gegenüber dem Originalprodukt, vorliegt, gilt das Vorgehensmodell, als erfolgreich beendet. Für den Fall, dass kein positiver, wirtschaftlicher und/oder sozialer Effekt auftritt, wird ein 2. PDCA-Zyklus initiiert.

**Darstellung des 2. PDCA-Zyklus für Schritt 6:****Plan**

In der Situation, dass keine positiven, wirtschaftlichen Auswirkungen vorliegen, lautet das Ziel, das Geschäftsmodell und/oder Produktionssystem so anzupassen, dass solche entstehen. Für den positiven Abschluss dieses Ziels eignen sich, die im 2. PDCA-Zyklus von Schritt 2 und/oder Schritt 4 präsentierten Lösungsmethoden. Für den Fall, dass keine positiven sozialen Auswirkungen aus Remanufacturing resultieren, ist das Produktionssystem dahingehend zu adaptieren, dass positive Beschäftigungseffekte entstehen und weiterhin eine positive Wirtschaftlichkeit gegeben ist.

**Do**

Durchführen der festgelegten Aufgaben aus der Planungsphase. Ausarbeitung und Dokumentation der geplanten Anpassungen, damit positive Auswirkungen auf das geplante Ziel dieses Schrittes entstehen.

**Check**

Je nach festgelegtem Ziel in der Planungsphase, folgt die Dokumentation und Überprüfung der Profitmargen und/oder Arbeitsplatzsituation. Der Vergleich von Profitmarge und/oder Arbeitsplätzen zwischen Originalprodukt und adaptiertem Remanufacturing-Produkt wird durchgeführt.

**Act**

Wenn nun positive Auswirkungen für die Wirtschaftlichkeit und soziale Sicht gewährleistet sind, gilt das Vorgehensmodell als erfolgreich durchgeführt. Für den Zustand, dass kein positiver, wirtschaftlicher und/oder sozialer Impact daraus folgt, stößt das Prozedere einen 3. PDCA-Zyklus an. Dessen Bewältigung geschieht nach dem Schema des zweiten PDCA-Zyklus.

### 4.3 Zusammenfassung und kritische Reflexion

Das Ergebnis aus Konzeptionierung und Umsetzung ist ein Vorgehensmodell, welches Unternehmen, bei der Einführung von Remanufacturing, unterstützt. Dabei handelt es sich, um ein einfach anwendbares Tool für Produktionsbetriebe. Die Anwenderin oder der Anwender wird anhand des Modells, Schritt für Schritt, durch den Implementierungsprozess geführt. Das Vorgehensmodell behandelt die, für erfolgreiches Remanufacturing, relevanten Themenbereiche: Produkt, Produktionssystem, Kunden, Geschäftsmodell sowie ökologische, wirtschaftliche und soziale Faktoren. Für die zielgerichtete Bewältigung, der insgesamt 6 Schritte des Vorgehensmodells, kommen in der Industrie bewährte Methoden und Tools zur Anwendung. Ein Auszug der, im Modell, verwendeten Methoden lautet: PDCA-Zyklus, Wertstromanalyse, Life Cycle Assessment, Bewertungsmatrizen, Business Model Canvas und Profitmargenrechnung.

Das Vorgehensmodell bewertet, für jeden Schritt, den IST-Zustand im Unternehmen und liefert, wenn notwendig, Methoden, um den gewünschten SOLL-Zustand zu erreichen. Dieser Vorgang unterstützt das Produktionsunternehmen, Remanufacturing erfolgreich einzuführen. Hat ein Betrieb das Vorgehensmodell erfolgreich abgeschlossen, erhält er damit einen Plan für die Umsetzung von Remanufacturing und besitzt das Wissen über die Vorteile der Einführung von Remanufacturing. Das Vorgehensmodell ist so konzipiert, dass es nicht erfolgreich abgeschlossen werden kann, wenn sich für das Unternehmen keine wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Vorteile ergeben. Das Modell begleitet die Firma bei der Planung der nötigen Anpassungen, um die vorher erwähnten Vorteile zu gewährleisten.

Kritisch zu betrachten ist, dass der Fokus des Vorgehensmodell darauf liegt, einen guten ersten Plan zur Implementierung von Remanufacturing zu liefern. Das Ziel besteht nicht darin gleich von Anfang an, einen optimalen Remanufacturing-Prozess im Unternehmen zu etablieren. Die Einführung von Remanufacturing soll für Betriebe aus ökonomischer, ökologischer und sozialer Sicht, wesentliche Vorteile bringen. Nach erfolgreicher Umsetzung dieses initialen Bestrebens, kann es aus Unternehmenssicht durchaus Sinn machen, dass die einzelnen Schritte des Remanufacturing-Prozesses im Detail beleuchtet und in weiterer Folge optimiert werden.

Die im Vorgehensmodell erwähnten Methoden sind, durch weitere Methoden zur Problemlösung erweiterbar.



## 5 Demonstration des Vorgehensmodells

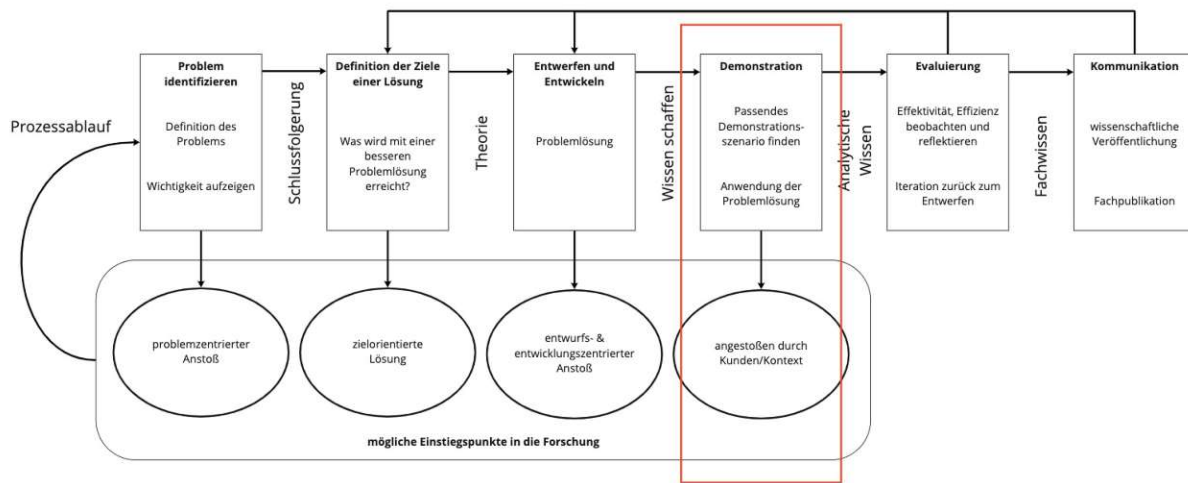


Abbildung 40: DSRM – Demonstration (Peffer et al., 2007, S. 54)

Kapitel 5 korrespondiert mit dem 4. Schritt im DSRM-Prozess und behandelt aus diesem Grund die Demonstration. Diese befasst sich mit der Anwendung, der entwickelten Problemlösung. Für die Demonstration eignen sich Verwendungen in Experimenten, Simulationen und Fallstudien sowie das Durchführen von Beweisen oder anderer geeigneter Anwendungsszenarien. Ausschlaggebend für eine erfolgreiche Demonstration ist das effektive Wissen über die Demonstration der konstruierten Problemlösung (Peffer et al., 2007, S. 55).

In dieser Arbeit wird für die Veranschaulichung, der Effektivität des konzipierten Vorgehensmodells zur Einführung von Remanufacturing, eine Fallstudie durchgeführt. Diese erfolgt am Beispiel eines fahrerlosen Transportsystems einer Firma, welche das Produkt entwickelt und produziert. Kapitel 5.1.1 beschreibt den Anwendungsfall für die Demonstration des Vorgehensmodells und erfasst die Darstellung der Ausgangssituation beim OEM. Anschließend behandelt Kapitel 5.1.2 die gezielte Veranschaulichung des Vorgehensmodell für die Einführung von Remanufacturing, anhand des fahrerlosen Transportsystems vom vorgestellten Produktionsunternehmens. Zum Abschluss befasst sich Kapitel 5.2 mit der Zusammenfassung und kritischen Reflexion der durchgeführten Demonstration des entwickelten Vorgehensmodells.

## 5.1 Anwendung am Beispiel des Agilox One

### 5.1.1 Beschreibung des Anwendungsfalles

Die Demonstration des Vorgehensmodells findet, anhand der Planung zur Einführung von Remanufacturing, für den Agilox One statt. Bei diesem handelt es sich um ein intelligentes fahrerloses Transportsystem, auch bekannt als Autonomous Mobile Robots (AMRs). Die Firma Agilox Services GmbH entwickelt und produziert dieses Produkt in Österreich. Abbildung 41 zeigt den Agilox One.



Abbildung 41: Agilox One (Agilox, 2022)

Der Agilox One basiert auf der X-SWARM Technology. Dieses System macht einen Leitreechner überflüssig. Die AMRs stehen in direkter Kommunikation, tauschen sich mehrmals pro Sekunde über ihre Position sowie ihren aktuellen Zustand aus, und verteilen Aufträge intelligent. Automatisches Ver- und Entsorgen, freie Routenfindung und eine einfache Adaption von Veränderungen der Umgebung ermöglichen ein intelligentes (Intra-)Logistikkonzept (Agilox, 2022).

Mit vier Fahreinheiten gründet der Agilox One auf einem omnidirektionalen Antriebskonzept, welches eine uneingeschränkte Bewegungsfreiheit erlaubt. Diese ermöglicht sowohl standardisierte Vorwärts- und Rückwärtsbewegungen als auch Parallel-, Diagonal- und Drehbewegungen um die eigene Achse. Hindernisse werden vom Agilox automatisch erkannt und umfahren. Darüber hinaus helfen

unterschiedliche Sensoren, wie der Sicherheits-Laserscanner oder die Obstacle Avoidance, das Fahrzeug präzise und sicher durch die Umgebung zu navigieren (Agilox, 2022). Der Agilox One transportiert Ladungsträger, wie Europaletten, Industriepaletten, Euro-Halbpaletten, Boxen, Trays und individuelles Sondergut. Tabelle 20 präsentiert die technischen Details des Produktes.

**Tabelle 20: Technische Details Agilox One (Agilox, 2022)**

<b>Technische Details</b>	
Abmaße	1.510 x 800 x 1.870 mm
Eigengewicht	400 kg
Max. Last	1.000 kg / 750 kg
Max. Hubhöhe	500 mm / 1.000 mm
Wenderadius	2.100 mm
Min. Gangbreite	1.300 mm
Ladezeit	3 Minuten laden = 1 Stunde Betrieb

Die Firma Agilox plant Remanufacturing für die Produktion des Agilox One einzuführen und hat sich daher, dankenswerterweise, für die Demonstration des Vorgehensmodells zur Verfügung gestellt.

### 5.1.2 Demonstration für den Anwendungsfall

Die Durchführung, der Demonstration des Vorgehensmodells, findet, durch den Verfasser dieser Diplomarbeit in enger Abstimmung mit Mitarbeitern der Firma Agilox, statt. Die Erhebung der, für die Anwendung des Modells, relevanten Daten und Informationen ist schriftlich, durch Interviews oder Bestandsaufnahmen in der Produktion, erfolgt. Außerdem sind diverse Informationen elektronisch übermittelt bzw. erhoben worden. Teilweise handelt es sich dabei um vertrauliche Daten und Informationen, weshalb die Diplomarbeit lediglich die gewonnenen Ergebnisse aus den vertraulichen Dokumenten präsentiert. Für die Wahrung der Wissenschaftlichkeit liegt die Dokumentation der Erkenntnisse aus diesen geheimen Informationen, den Betreuern dieser Diplomarbeit, zur Überprüfung der korrekten Vorgehensweise vor.

## Demonstration Schritt 1: Reifegrad des Produkts hinsichtlich Remanufacturing

Es folgt die Durchführung des ersten PDCA-Zyklus, der den Eignungsgrad des Produktes für Remanufacturing bewertet.

### Plan

Das Ziel ist es, den Reifegrad des Produktes für Remanufacturing zu bestimmen. Die benötigten Produktdaten und -informationen sind zu eruieren. Bei den relevanten Stakeholdern handelt es sich um den Verfasser dieser Arbeit und Personen aus dem technischen Management, die bestens über das Produkt Bescheid wissen. Als Tool für die Bestimmung des Reifegrades kommt die Bewertungsmatrix aus Tabelle 17 zur Anwendung. Der Verfasser dieser Diplomarbeit holt die nötigen Produktinformation ein und befüllt die Bewertungsmatrix.

### Do

Befüllen der Bewertungsmatrix, die Dokumentation dazu findet sich in Tabelle 21.

**Tabelle 21: Bewertungsmatrix Produkt Agilox One**

Thema	Punktzahl	Argumentation Punktzahl
1. Materialdeklarationen verfügbar/ Identifikation von Materialien leicht möglich	4	Für den Agilox One ist die Dokumentation aller Materialien vorhanden.
2. Identifikation von Modulen leicht möglich	4	Module können leicht identifiziert werden. Der Agilox One ist modular aufgebaut.
3. umweltkritische, gefährliche und toxische Stoffe (auch beim Handling, Gefährdung von Mitarbeitern)	4	Keine besonderen Gefahrenherde. Manche Stoffe müssen entfernt werden, diese sind aber mit Warnhinweisen explizit deklariert (Beispiel: Akku).
4. Gesamtprodukt wiederverwendbar – effizienter Ausbau und Austausch von nicht wiederverwendbaren Modulen	4	Module sind klar identifizierbar und zerlegfähig. Einfacher Austausch von Modulen ist gewährleistet. Die regelmäßige Wartung des Agilox One wirkt sich positiv auf die Wiederverwendbarkeit aus.
5. Gesamtprodukt nicht wiederverwendbar – effiziente Entnahme wiederverwendbarer Einzelteile	4	Module sind klar identifizierbar und zerlegfähig. Produktbestandteile können, nach dem Ende der Lebenszyklen, als Ersatzteile genutzt werden. Gute Austauschbarkeit von Modulen ist gegeben.

6. Langlebigkeit von Bauteilen und Modulen	3	Großteil der Komponenten ist langlebig und deren Lebensdauer bekannt. Teilweise sind Verschleißteile integriert.
7. Updatefähigkeit/ Kompatibilität zu neuen Produktgenerationen	4	Gegeben, eventuell sind Computerhardware und Sensortechnik upzudaten. Punktuelle Verbesserung der mechanischen Komponenten.
8. eindeutige Produktzuordnung	4	Hohe Produktkenntnis und überschaubare Produktvariationen sind für den Agilox One gegeben. Informationen zu Baujahr und Modellreihe sind verfügbar. Bestand ist durch Monitoring genau bekannt.
9. Materialien klar identifizierbar (falls keine Materialdeklaration)	4	Alle Materialien des Produktes sind genau dokumentiert.
10. Alter und Zustand identifizierbar (technisch/ Dokumentation)	4	Gegeben, durch genaues Monitoring. Von jedem Agilox One ist exakt bekannt, wann dieser, wo und wieviel Stunden, im Einsatz ist/war.
11. gute Sortierbarkeit ausgebauter Module	4	Durch überschaubare Produktvielfalt und guter Sortierbarkeit, nach Ausbau gegeben.
12. hohe Standardisierung der Module	4	Gegeben durch hohe Standardisierung und überschaubare Anzahl von Produktvariationen.

**Check**

Die Gesamtpunktzahl aus der Bewertungsmatrix für den Agilox One lautet 47.

**Act**

Der Agilox One erreicht eine Gesamtpunktzahl von 47 aus 48 möglichen Punkten. Die Zielpunktzahl von 24 ist somit ganz klar überschritten und der Agilox One hervorragend geeignet für Remanufacturing. Aus diesem Grund wird im Vorgehensmodell mit Schritt 2 fortgefahren.

## **Demonstration Schritt 2: Reifegrad des Produktionssystems hinsichtlich Remanufacturing**

Dieser 2. Schritt bestimmt den Reifegrad des Produktionssystem in Bezug auf Remanufacturing.

**Der erste PDCA-Zyklus für diesen Schritt gestaltet sich folgendermaßen:**

### **Plan**

Die Zielvorgabe lautet, zu evaluieren, ob das aktuelle Produktionssystem alle nötigen Prozessschritte vorweist, um Remanufacturing zu betreiben. Die Aufzeichnung des Produktionssystems findet anhand einer Wertstromanalyse statt. Deren Durchführung erfolgt durch den Verfasser dieser Arbeit und dem Head of Operations der Firma Agilox, mittels Aufnahme des Ist-Zustandes live in den Produktionshallen, statt. Nach der Aufnahme des Wertstromes kommt es zu einem Abgleich mit dem Remanufacturing-Prozess.

### **Do**

Die Stakeholder für diesen Schritt spazieren durch die Produktion und zeichnen deren Ist-Zustand auf.

### **Check**

Der Verfasser dieser Arbeit dokumentiert und überprüft die Wertstromanalyse. Anschließend folgt der Abgleich von Wertstromanalyse und nötigen Remanufacturing-Prozessschritten. Dieser liefert, dass im aktuellen Produktionsprozess die, für Remanufacturing notwendigen, folgenden Prozessschritte fehlen:

- Rücknahmelogistik
- Demontage
- Reinigung
- Prüfung
- Aufbereitung

### **Act**

Die Dokumentation zeigt fünf fehlende Prozessschritte für Remanufacturing auf, weshalb es zur Initiierung eines 2. PDCA-Zyklus kommt.

## **Demonstration des 2. PDCA-Zyklus für Schritt 2:**

### **Plan**

Das Ziel lautet, eine detaillierte Planung für die Anpassung des Produktionssystems hinsichtlich Remanufacturing vorzunehmen. Diese führt der Verfasser dieser Arbeit, in enger Abstimmung mit dem Head of Operations, des Agilox One, durch. Die Prozessschritte Rücknahmelogistik, Demontage, Reinigung, Prüfung und Aufbereitung werden in der Planung des Soll-Wertstromes berücksichtigt. Der

Abgleich von verfügbarer, technischer Ausrüstung mit der für die neuen Prozessschritte benötigten, erfordert die Planung der Beschaffung zusätzlicher, notwendiger, technischer Ausrüstung. Die aktuelle Produktionsstätte verfügt aber über ausreichend Kapazitäten, um die zusätzlichen Prozessschritte umzusetzen.

### **Do**

Der Soll-Wertstrom für Remanufacturing wird geplant. Die detaillierte Planung für die Umsetzung der zusätzlichen Prozessschritte findet statt. Dann erfolgt die Ausarbeitung für die Beschaffung der zusätzlichen, technischen Ausrüstung.

### **Check**

Anschließend folgt die Dokumentation und Überprüfung des geplanten neuen Wertstroms. Die Durchführung des Abgleichs von diesem mit den nötigen Remanufacturing-Prozessschritten findet statt. Alle wesentlichen Schritte, für die Implementierung von Remanufacturing, spiegeln sich im neu geplanten Wertstrom wider.

### **Act**

Die Dokumentation zeigt, dass der neue Wertstrom über alle, für Remanufacturing, notwendigen Prozessschritte verfügt. Daher wird mit Schritt 3 des Vorgehensmodells fortgefahren.

## **Demonstration Schritt 3: Kundennachfrage und Akzeptanz beim Kunden**

**Es folgt der erste PDCA-Zyklus für diesen Schritt, der die Kundennachfrage und Akzeptanz beim Kunden evaluiert:**

### **Plan**

Das Ziel ist, die Kundennachfrage und Akzeptanz beim Kunden für Produkte aus Remanufacturing zu bewerten. Die benötigten Kundendaten und -informationen werden gemeinsam mit dem Management, das im stetigen Austausch mit dem Vertrieb steht, gesammelt. Als Tool für die Beurteilung kommt die Bewertungsmatrix aus Tabelle 18 zur Anwendung. Der Verfasser dieser Diplomarbeit holt die nötigen Kundendaten ein und befüllt die Bewertungsmatrix.

### **Do**

Bestimmen der Punktzahl der Bewertungsmatrix samt Dokumentation, wie in Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Bewertungsmatrix Kunden Agilox One

Thema	Punktzahl	Argumentation Punktzahl
1. Kundenakzeptanz und -nachfrage für remanufactured Produkte. Inwieweit verfügen Kunden über Wissen zu remanufactured Produkten? Wie gestaltet sich die Nachfrage der Kunden nach einem remanufactured Produkt?	4	Die Kundennachfrage ist hoch und die Produktion laufend erweitert worden, sodass es Sinn macht die Produkte im ständigen Kreislauf zu halten. Für das Remanufacturing-Produkt kann der gleiche Preis wie für das Originalprodukt verrechnet werden und es gelten die gleichen Garantiebestimmungen. Teilweise findet eine Bereitstellung über Leasing statt. Remanufactured Produkte gelten als gleichwertig, wie neu hergestellte Produkte, zusätzlich sind sie umweltfreundlich.
2. Zugang des Kunden zu remanufactured Produkten und Akzeptanz von remanufactured Produkten. Was sind die Bezugskanäle des Kunden für remanufactured Produkte? Inwieweit akzeptieren die Kunden remanufactured Produkte?	3	Sporadischer verkaufte, gebrauchte Produkte, nach einigen Reparaturen, werden von Kunden gut angenommen. Derzeit dadurch begrenzt, dass noch wenige Produkte, die sich am Markt befinden, das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben. Kunden stehen remanufactured Produkten positiv gegenüber. Remanufactured Produkte gelten als so gut wie neue Produkte, aufgrund hoher Produktqualität, hochwertigem Aussehen und zufriedenstellender Performance.
3. Kundenbindung an Originalmarke. Inwieweit sind die Kunden der Originalmarke treu?	4	Kunden haben sich der Marke verschrieben und kaufen daher fast ausschließlich den Agilox One. Das Produkt hebt sich, durch die ausgeklügelte Software, klar von der Konkurrenz ab.

**Check**

Die Gesamtpunktzahl aus der Bewertungsmatrix für den Agilox One lautet 11.

**Act**

Der Agilox One erreicht eine Gesamtpunktzahl von 11 aus 12 möglichen Punkten. Die Zielpunktzahl von 6 ist somit ganz klar überschritten und der Agilox One bestens geeignet für Remanufacturing. Deshalb wird im Vorgehensmodell mit Schritt 4 weitergemacht.



## Demonstration Schritt 4: Reifegrad des Geschäftsmodells hinsichtlich Remanufacturing

Der Reifegrad des Geschäftsmodells hinsichtlich Remanufacturing wird im ersten PDCA-Zyklus für diesen Schritt bewertet:

### Plan

Das Ziel ist es, den Reifegrad des Geschäftsmodells für Remanufacturing, zu bestimmen. Die benötigten Daten und Informationen werden gemeinsam mit dem Management, das im stetigen Austausch mit dem Vertrieb steht, zusammengetragen. Als Tool für die Beurteilung des Reifegrades kommt eine Bewertungsmatrix zur Anwendung. In Tabelle 19 wird diese gezeigt. Der Verfasser dieser Diplomarbeit holt die nötigen Informationen, bezüglich Rücknahme- und Absatzsituation, ein und befüllt die Bewertungsmatrix.

### Do

Bestimmung der Punktzahl der Bewertungsmatrix inklusive Dokumentation, wie aus Tabelle 23 ersichtlich.

**Tabelle 23: Bewertungsmatrix Geschäftsmodell Agilox One**

Thema	Punktzahl	Argumentation Punktzahl
1. Konstante und planbare Rücknahmemengen	4	Die Rücknahmemengen können ganz genau geplant werden, da jeder verkaufte Agilox One über ein „Live“- Monitoring verfügt. Die Lebensdauer vom Agilox One ist bekannt und durch das Monitoring kann genau vorhergesagt werden, wann, welches Produkt zum Remanufacturing zurückkommt.
2. Konstanter und planbarer Absatzmarkt	4	Gute Planbarkeit des Absatzmarktes wie bei Neuprodukten.
3. Etabliertes und verlässliches Rücknahmesystem hinsichtlich Rücknahme- und Absatzmenge (lebenszyklus-übergreifende Produktverantwortung)	3	Rücknahmesystem ist einfach zu implementieren, da für jeden verkauften Agilox One ein „Live“- Monitoring existiert. Mit den Kunden kann dementsprechend, am Ende der Lebensdauer, der Kontakt aufgenommen werden und die Rücknahme des Agilox One veranlasst werden.
4. Strukturierte Rahmenbedingungen	2	Aktuell keine Vorgaben, aber Novellierung des

(Gesetze, Vorgaben) des Rücknahmemarktes		Kreislaufwirtschaftsgesetzes könnte hier ansetzen.
5. Strukturierte Rahmenbedingungen (Gesetze, Vorgaben) des Absatzmarktes, wie z.B. Zulassungskriterien	3	Reine Transfertätigkeit, d. h., die Zulassung des Eingangsproduktes bleibt erhalten.
6. Marktakzeptanz aufgearbeiteter Produkte	4	Gute Akzeptanz für remanufactured Produkte, Kunde unterscheidet nicht zwischen Neuware und Remanufacturing-Ware. Funktion und Vorteile des Agilox One als Kernkriterium.
7. Konkurrenzsituation am Absatzmarkt durch Neuprodukte	4	Die Konkurrenz am Absatzmarkt ist überschaubar. Der Agilox One profitiert von einer ausgeklügelten Software, da der Wettbewerb noch keinen vergleichbaren Standard liefern kann.
8. Konkurrenzsituation am Absatzmarkt durch andere remanufactured Produkte	4	Bisher kein wahrnehmbarer Konkurrent am Markt ersichtlich. Derzeit keine remanufactured Produkte am Markt erkennbar.

**Check**

Die Gesamtpunktzahl aus der Bewertungsmatrix für den Agilox One lautet 28.

**Act**

Der Agilox One erreicht eine Gesamtpunktzahl von 28 aus 32 möglichen Punkten. Die Zielpunktzahl von 16 ist somit ganz klar überschritten. Das derzeitige Geschäftsmodell für den Agilox One eignet sich ausgezeichnet für Remanufacturing. Aus diesem Grund wird im Vorgehensmodell zu Schritt 5 übergegangen.

**Demonstration Schritt 5: Analyse und Bewertung ökologischer Auswirkungen**

**Der erste PDCA-Zyklus, für die Analyse und Bewertung der ökologischen Auswirkungen, gestaltet sich wie folgt:**

**Plan**

Die Zielvorgabe lautet, die ökologischen Auswirkungen von Remanufacturing auf die Firma Agilox, zu bewerten. Die Analyse und Bewertung findet durch ein Life Cycle Assessment statt. Das LCA wird, sowohl für das Original-, als auch für das Remanufacturing-Produkt durchgeführt. Das Life Cycle Assessment, für das Produkt

aus Remanufacturing, evaluiert den ersten Remanufacturing-Zyklus und beinhaltet nicht, die ökologischen Auswirkungen des Originalproduktes. Für die Durchführung des LCAs wird die Software ECODESIGN+ (Ecodesign, 2022) verwendet.

### **Do**

Das Life Cycle Assessment wird für das Originalprodukt und das Produkt aus dem ersten Remanufacturing-Zyklus vorgenommen.

### **Check**

Die LCAs für das Originalprodukt und das Remanufacturing-Produkt werden dokumentiert und überprüft. Das ursprüngliche Produkt hat einen ökologischen Fußabdruck von 1.126,56 kg CO<sub>2</sub>-eq und das Remanufacturing-Produkt von 384,58 kg CO<sub>2</sub>-eq. Somit sind die ökologischen Auswirkungen vom Produkt aus Remanufacturing um 66% geringer.

### **Act**

Da die ökologischen Auswirkungen des Remanufacturing-Produkts um 66% niedriger sind, ist ein positiver Impact, gegenüber dem Originalprodukt, gegeben. Dadurch darf im Vorgehensmodell mit Schritt 6 fortgefahren werden.

## **Demonstration Schritt 6: Analyse und Bewertung sozialer und wirtschaftlicher Auswirkungen**

**Für den 6. Schritt vom Vorgehensmodell lautet der 1. PDCA-Zyklus folgendermaßen:**

### **Plan**

Das Ziel dieses Schrittes besteht in der Analyse und Beurteilung der wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen von Remanufacturing für das Unternehmen. Zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Remanufacturing wird eine Analyse der Profitmarge durchgeführt. Die sozialen Auswirkungen bestimmen sich anhand von Beschäftigungseffekten durch Remanufacturing. Der wirtschaftliche Impact wird als positiv bewertet, wenn die Profitmarge vom Remanufacturing-Produkt größer oder gleich jener vom Originalprodukt ist. Ein positives, soziales Ergebnis liegt vor, wenn die Einführung von Remanufacturing-Prozessen neue Arbeitsplätze schafft.

### **Do**

Die Profitmargen für das Originalprodukt bzw. das Remanufacturing-Produkt werden berechnet. Die Anzahl der Arbeitsplätze wird, für das Originalprodukt und für das Remanufacturing-Produkt, anhand der Wertstromanalysen aus Schritt 2 ermittelt.

## Check

Die Profitmargenberechnung ergibt, dass die Marge für das Remanufacturing-Produkt, gegenüber dem Originalprodukt, um 8% höher ist. Durch die Einführung von Remanufacturing-Prozessen entstehen acht neue Arbeitsplätze.

## Act

Durch die höhere Profitmarge und Schaffung neuer Arbeitsplätze, liegt ein positiver Impact, durch Remanufacturing für das Unternehmen Agilox, auf wirtschaftlicher und sozialer Ebene, vor. Somit gilt das Vorgehensmodell, als erfolgreich, abgeschlossen. Die Firma Agilox verfügt nun über eine detaillierte Planung, betreffend der Einführung von Remanufacturing für den Agilox One, und weiß über die positiven Auswirkungen, von Remanufacturing auf das Unternehmen, Bescheid.

## 5.2 Evaluierung und kritische Reflexion

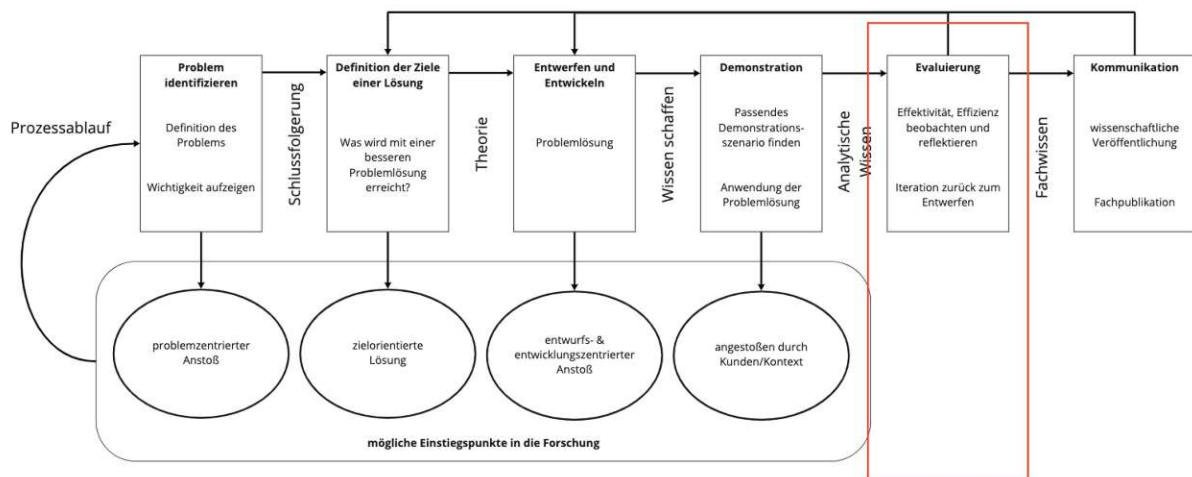


Abbildung 42: DSRM – Evaluierung (Peffer et al., 2007, S. 54)

Das Kapitel 5.2 behandelt die Evaluierung und kritische Reflexion, der Demonstration des Vorgehensmodells für den, unter Kapitel 5.1, beschriebenen Anwendungsfall. Daher spiegelt dieses Kapitel den 5. Schritt im DSRM-Prozess wider. Die Evaluierung umfasst das Beobachten und die Reflexion von Effektivität sowie Effizienz der vorgestellten Problemlösung. Dabei kommt es zum Vergleich der Ziele, aus Schritt 2 nach Peffer et al. (2007), mit den, im Zuge der Anwendung der Problemlösung bei der Demonstration, tatsächlich, beobachteten Ergebnissen. Die Ausführung erfolgt mithilfe von relevanten Metriken und Analysetechniken, wobei die Bewertung in vielen Formen stattfinden kann. Als geeignet erweist sich der Vergleich, der Funktionalität der Problemlösung, mit den Lösungszielen aus Schritt 2. Am Ende der Evaluierung entscheidet die Forscherin oder der Forscher, ob eine Rückkehr zu Schritt 3 erfolgt, um zu versuchen, die Effektivität der Lösung zu verbessern, oder ob die Kommunikation geschieht und die weitere Verbesserung nachfolgenden Projekten überlassen wird (Peffer et al., 2007, S. 56).

Generell kann, unter kritischer Beurteilung, gesagt werden, dass das entwickelte Vorgehensmodell die, in Schritt 2 des DSRM-Prozesses, definierten Zielsetzungen erfüllt. Die Demonstration hat gezeigt, dass das Vorgehensmodell, zur Einführung von Remanufacturing, die aus der Zielsetzung ermittelten Punkte, vollkommen abdeckt. Diese lauten wie folgt:

- Genaue Beschreibung der einzelnen Schritte des Vorgehensmodells
- Vorstellung von Tools und Methoden für die erfolgreiche Umsetzung der Schritte
- Die zu erwartenden Resultate im jeweiligen Schritt
- Präsentation der Aktionen, des Unternehmens, für den erfolgreichen Abschluss eines Schrittes

Für die vertiefte Evaluierung der Effektivität des Vorgehensmodells beantworten zwei potenzielle Anwender einen standardisierten Fragebogen. Bei den zwei Personen handelt es sich um einen Manager der Firma Agilox und einen Kreislaufwirtschaftsexperten.

Der Fragebogen wird in Anlehnung an den System Usability Scale (SUS) definiert. Diese etablierte, einfach anzuwendende und technologieunabhängige Methode bewertet die Brauchbarkeit eines Modells. Der System Usability Scale umfasst zehn vorgeschlagenen Aussagen, welche anhand von fünf Antwortmöglichkeiten zu erwidern sind. Das Spektrum reicht von Punktzahl 0 (stimme nicht zu) bis Punktzahl 4 (stimme zu) (Brooke, 1996).

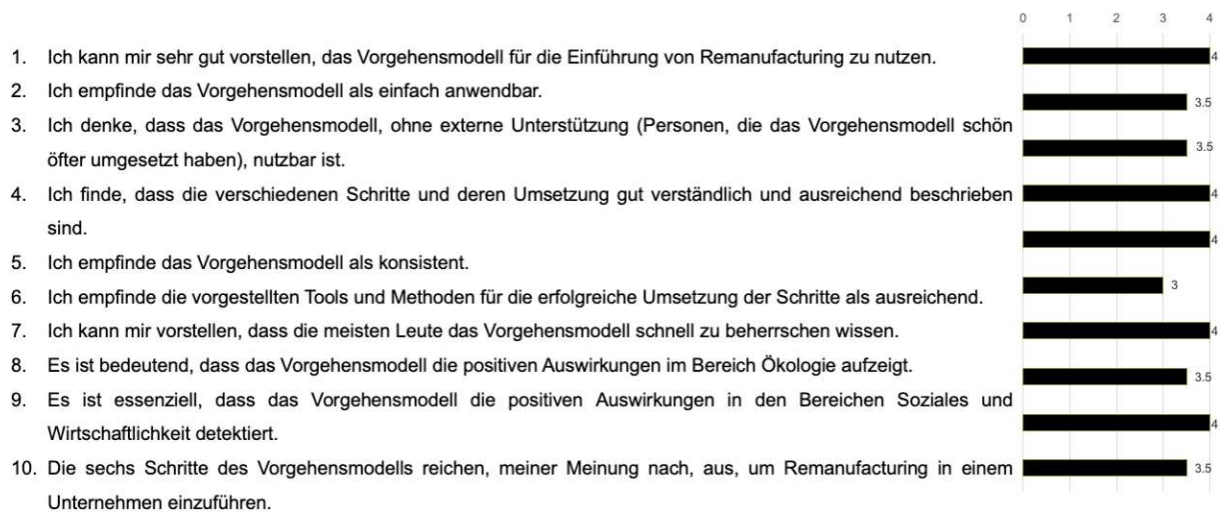
Durch die Bewertung der zehn Aussagen mit jeweils einer Maximalpunkanzahl von 4, können für den gesamten Fragebogen maximal 40 Punkte erreicht werden. Die erzielte Punktzahl wird mit dem Wert 2,5 multipliziert. Daraus folgt eine als Prozentwert interpretierbare Zahl zwischen 0 und 100. Diese Prozentzahl wird auch als SUS-Score bezeichnet. Dessen Einteilung reicht von der schlechtesten, vorstellbaren Anwendbarkeit mit dem Wert 0% bis zur bestmöglichen Applikabilität von 100%.

Die zehn Aussagen, für die Evaluierung der Anwendbarkeit des Vorgehensmodells zur Einführung von Remanufacturing, sind, wie schon erwähnt, in Anlehnung an den System Usability Scale fixiert worden und lauten wie folgt:

1. Ich kann mir sehr gut vorstellen, das Vorgehensmodell für die Einführung von Remanufacturing zu nutzen.
2. Ich empfinde das Vorgehensmodell als einfach anwendbar.
3. Ich denke, dass das Vorgehensmodell, ohne externe Unterstützung (Personen, die das Vorgehensmodell schon öfter umgesetzt haben), nutzbar ist.
4. Ich finde, dass die verschiedenen Schritte und deren Umsetzung gut verständlich und ausreichend beschrieben sind.

5. Ich empfinde das Vorgehensmodell als konsistent.
6. Ich empfinde die vorgestellten Tools und Methoden für die erfolgreiche Umsetzung der Schritte als ausreichend.
7. Ich kann mir vorstellen, dass die meisten Leute das Vorgehensmodell schnell zu beherrschen wissen.
8. Es ist bedeutend, dass das Vorgehensmodell die positiven Auswirkungen im Bereich Ökologie aufzeigt.
9. Es ist essenziell, dass das Vorgehensmodell die positiven Auswirkungen in den Bereichen Soziales und Wirtschaftlichkeit detektiert.
10. Die sechs Schritte des Vorgehensmodells reichen, meiner Meinung nach, aus, um Remanufacturing in einem Unternehmen einzuführen.

Die Auswertung der Antworten von den Anwendern des Vorgehensmodells wird in Abbildung 43 dargestellt und liefert einen SUS-Score von 92,5%. Das, in dieser Arbeit, entwickelte Vorgehensmodell verfügt somit nahezu über die beste, vorstellbare Anwendbarkeit.



**Abbildung 43: Auswertung Fragebogen in Anlehnung an den System Usability Scale**

Bei erfolgreicher Umsetzung, des Vorgehensmodells, ergeben sich, für das Unternehmen, positive Auswirkungen in den Bereichen Ökologie, Soziales und Wirtschaftlichkeit. All diese Themengebiete weisen eine hohe gesellschaftliche Relevanz auf und wirken sich somit vorteilhaft auf die Zukunft der Firma aus. Zusätzlich helfen diese positiven Effekte dem OEM, sich weiter von Mitbewerbern zu differenzieren und stärken dadurch seine Marktposition. Das Produkt und das Produktionssystem sind durch das realisierte Vorgehensmodell auf dem Stand, dass der Umsetzung von Remanufacturing nichts im Wege steht. Durch die erfolgreiche Einführung von Remanufacturing ergeben sich, für das Unternehmen, zusätzliche Optionen und Wachstumspotentiale im Geschäftsmodell.

Während der Demonstration hat sich gezeigt, dass die Rücknahmelogistik einen kritischen Bereich, für die Einführung von Remanufacturing, darstellt. Daher liegt der Gedanke nahe, ob es praktikabler wäre, dem Vorgehensmodell einen eigenen Schritt Rücknahmelogistik zuzuweisen. Diese Problematik bietet die Möglichkeit, in einer weiteren, wissenschaftlichen Arbeit, beleuchtet zu werden. Auf der anderen Seite ist die Rücknahmelogistik eng mit dem Produktionssystem verwoben. Aus dieser Tatsache ergibt sich, dass die Umsetzung wie im präsentierten Vorgehensmodell seine Berechtigung hat und zu einem zielgerichteten Output führt.

Bei der Demonstration des Vorgehensmodells hat es nur den Durchlauf eines PDCA-Zyklus, für die meisten Schritte bedurft. Lediglich für den 2. Schritt, welcher das Produktionssystem behandelt, ist ein zweiter PDCA-Zyklus veranschaulicht worden. Aus diesem Grund kann kritisch angemerkt werden, dass eine Demonstration, der durchzuführenden Aufgaben im zweiten PDCA-Zyklus, der jeweiligen Schritte aussteht. Die zusätzliche Evaluierung von diesen, sprengt den Rahmen dieser Diplomarbeit und eröffnet die Gelegenheit, in zukünftigen Arbeiten betrachtet zu werden.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Kapitel 6.1 präsentiert die Zusammenfassung dieser Diplomarbeit. Diese liefert die wesentlichen, inhaltlichen Punkte. In Kapitel 6.2 findet die Diskussion der Ergebnisse des entwickelten Vorgehensmodells statt. Dabei kommt es zur Beschreibung der Resultate und von deren Auswirkungen. Weiters erfolgt in Kapitel 6.3 ein Ausblick, welche zusätzlichen Forschungsfelder, im Zuge des Verfassens dieser Arbeit, aufgetaucht sind. Dieser dient als Basis für zukünftige Forschungsarbeiten.

### 6.1 Zusammenfassung

Unser Planet verfügt über eine endliche Anzahl von natürlichen Ressourcen. Der Verbrauch dieser ist in den letzten Jahrzehnten stetig gestiegen. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Konsumation von natürlichen Rohstoffen und den steigenden CO<sub>2</sub>-Emissionen, welche die Menschheit in eine existenzbedrohende Klimakrise manövrieren. Es liegt an uns Menschen, diese Probleme zu lösen. Wir, Wirtschaftsingenieurinnen und Wirtschaftsingenieure, können unseren Beitrag leisten, indem unser Handeln auf den Werten der Nachhaltigkeit gründet. Dieses setzt sich aus der ausgewogenen Symbiose von ökologischem, sozialem und wirtschaftlichen Nutzen zusammen.

Einen Ansatz zur Lösung liefern wir, Ingenieurinnen und Ingenieure, mit der Unterstützung von Produktionsunternehmen bei der Transformation von linearem Wirtschaften hin zu einer Kreislaufwirtschaft. Diese ist ein regeneratives Wirtschaftssystem und entkoppelt die Wirtschaftstätigkeit vom Ressourcenverbrauch. Es gibt unterschiedliche Strategien für die Umsetzung von Kreislaufwirtschaft. Eine dieser Möglichkeiten heißt Remanufacturing. Darunter versteht man, die Verwertung gebrauchter Produkte, einschließlich Sammlung, Reparatur, Demontage und Austausch verschlissener Komponenten, um diese wieder auf das Qualitätsniveau neu hergestellter Produkte oder sogar besser zu bringen (Elodie et al., 2020, S. 169). Der Fokus dieser Diplomarbeit liegt darauf ein Vorgehensmodell, für die Einführung von Remanufacturing in Produktionsunternehmen, zu entwickeln und zu demonstrieren.

Eine systematische Literaturrecherche kommt zu dem Schluss, dass es kein ganzheitliches Vorgehensmodell, für die Einführung von Remanufacturing, gibt. Daher wurde in dieser Diplomarbeit ein Vorgehensmodell entwickelt, welches Unternehmen bei der Einführung von Remanufacturing-Prozessen unterstützt. Das Resultat ist eine einfach anwendbare Methode für Produktionsunternehmen. Der Implementierungsprozess des Vorgehensmodells findet, nach einer logischen Abfolge, Schritt für Schritt statt. Dabei deckt das Tool die für Remanufacturing kritischen Bereiche, also Produkt, Produktionssystem, Kunden, Geschäftsmodell sowie ökologische, wirtschaftliche und soziale Auswirkungen, ab. Die zielgerichtete



Applikation, des sechs Schritte umfassenden Vorgehensmodells, basiert auf, in der Industrie geschätzten Methoden und Tools. Ein Auszug der angesprochenen Tools lautet: PDCA-Zyklus, Wertstromanalyse, Life Cycle Assessment, Bewertungsmatrizen, Business Model Canvas und Profitmargenrechnung.

Die Wirksamkeit des Vorgehensmodells wird anhand des, von der Firma Agilox, entwickelten Produktes, dem Agilox One, evaluiert. Dabei handelt es sich um ein intelligentes fahrerloses Transportsystem. Mit dem entwickelten Vorgehensmodell ist Schritt für Schritt der Implementierungsprozess von Remanufacturing geplant worden. Das Vorgehensmodell liefert für das Unternehmen Agilox einen detaillierten Plan, wie es Remanufacturing für den Agilox One einführen kann und welche konkreten Adaptierungen notwendig sind. Zusätzlich ergibt sich die genaue Kenntnis, welche positiven Auswirkungen Remanufacturing, in den Bereichen Ökologie, Wirtschaftlichkeit und Soziales, auf das Produktionsunternehmen hat.

## 6.2 Diskussion der Ergebnisse

Das, in dieser Arbeit, konzipierte Vorgehensmodell basiert auf in der Industrie bekannten und standardisierten Methoden. Diese kommen aus den Bereichen Produkt, Produktionssystem, Geschäftsmodell, Ökologie, Wirtschaftlichkeit sowie sozialer Implikationen und schlagen sich in ihrer Kombination in dem entwickelten, strukturierten Vorgehensmodell nieder.

Es kann mit gutem Gewissen behauptet werden, dass die Hauptforschungsfrage samt Unterfragen, in dieser Diplomarbeit, erfolgreich beantwortet sind. Die zentrale Forschungsfrage lautet: „Wie sieht das Vorgehen zur Einführung von Remanufacturing-Prozessen in einem Unternehmen aus, welches fahrerlose Transportsysteme (FTS) produziert?“ Das konzipierte Vorgehensmodell beantwortet die Frage klar und dies wird durch die Demonstration für den Anwendungsfall bestätigt. Eine Unterfrage beschäftigt sich mit: „Welche Kriterien hat das Produkt zu erfüllen, um Remanufacturing für das Produkt einzuführen?“ Dafür liefert das Vorgehensmodell in Schritt 1 eine Antwort. Dafür wird eine Bewertungsmatrix vorgestellt, welche die wichtigsten Produktmerkmale, für Remanufacturing, darstellt und bewertet. Die Beantwortung der Fragen, welche sich auf die Rahmenbedingungen und Prozessschritte im Unternehmen beziehen, erfolgt anhand der Behandlung der Themen Produktionssystem, Kunden und Geschäftsmodell, durch das konzipierte Vorgehensmodell. Im Bereich Kunden und Geschäftsmodell findet eine Evaluierung der Rahmenbedingungen durch Bewertungsmatrizen statt. Für die Durchführung der Prozessschritte, des Produktionssystems zur Einführung von Remanufacturing, präsentiert das Modell entsprechende Methoden und Tools.

Beim Thema der ökologischen Auswirkungen von Remanufacturing liefert ein Life Cycle Assessment das Ergebnis. Dieses ermittelt, dass durch das Remanufacturing-

Produkt, im Vergleich zum Originalprodukt, um 66% weniger CO<sub>2</sub>-Emission verursacht werden. Das liegt im Bereich der in der Literatur erwähnten Einsparungen von 57% bis 87% (Nasr & Russel, 2018, S. 141). Zusätzlich ergibt sich ein um 69% geringerer Verbrauch von Ressourcen, da die meisten Komponenten, durch den Remanufacturing-Prozess, wiederaufbereitet werden. Die Einführung von Remanufacturing ergibt auch, aus wirtschaftlicher Sicht, Sinn, da die Profitmarge für das Remanufacturing-Produkt um 8% höher liegt als beim Originalprodukt. Ein weiterer positiver Effekt betrifft die soziale Perspektive. Hier schafft die Einführung von Remanufacturing-Prozessen neue Arbeitsplätze und das, bei gleichzeitig gesteigerter Wirtschaftlichkeit.

Die Einführung von Remanufacturing weist definitiv gewisse Herausforderungen auf. Das konzipierte Vorgehensmodell, dieser Diplomarbeit, unterstützt Produktionsunternehmen bei der Bewältigung der erwähnten Challenges und gibt eine Struktur für den Implementierungsprozess vor. Das Annehmen und Lösen dieser Herausforderungen macht sich aber bezahlt und liefert positive Auswirkungen in den unterschiedlichsten Bereichen. Zusätzlich blicken Unternehmen, die diesen Weg gehen, in eine erfolgreiche Zukunft und leisten einen Beitrag zur Lösung großer, gesellschaftlicher Herausforderungen.

### 6.3 Ausblick

Die Anwendung, der Themen Kreislaufwirtschaft und Remanufacturing, ist in der Industrie derzeit noch spärlich vertreten. Diese Formen des Wirtschaftens gewinnen jedoch immer mehr an Bedeutung. Mit einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit müssen sich alle Produktionsunternehmen, früher oder später, mit diesen Themen auseinandersetzen, um weiterhin erfolgreich zu sein. Aktuelle Krisen haben gezeigt, wie fragil die weltweiten Lieferketten sind. Unternehmen versuchen Lösungen für diese Thematik zu finden, um zukünftig besser vorbereitet zu sein. Einen Beitrag zu höherer Resilienz, in Bezug auf Lieferketten, können hier Kreislaufwirtschaft und Remanufacturing leisten. Dies folgt aus dem logischen Grund, dass durch Kreislaufwirtschaft und Remanufacturing, Ressourcen möglichst lange und effizient im Wirtschaftskreislauf gehalten werden. Zusätzlich befinden sich EU-Richtlinien am Weg, welche sich positiv auf die Transformation in Richtung Kreislaufwirtschaft auswirken.

Das, in dieser Arbeit, konzipierte Vorgehensmodell unterstützt Unternehmen dabei, Remanufacturing einzuführen. Dazu erhalten Firmen eine strukturierte, Schritt für Schritt, Vorgehensweise für den Implementierungsprozess. Außerdem bekommen die Produktionsunternehmen einen Überblick bezüglich der positiven Auswirkungen von Remanufacturing.

Das Vorgehensmodell bedient sich der Methodik des PDCA-Zyklus. Bei der Durchführung des Modells können für den jeweiligen Schritt ein oder mehrere PDCA-Zyklen notwendig sein, je nach Ausgangssituation beim OEM. Für den, in dieser Diplomarbeit, demonstrierten Anwendungsfall ist nur für einen Schritt ein zweiter PDCA-Zyklus notwendig. Aus diesem Grund ergibt sich die Möglichkeit, die weiteren möglichen Abläufe (die zweiten, nicht demonstrierten, PDCA-Zyklen) für andere Anwendungsfälle zu beleuchten.

Ein weiteres Forschungsfeld bietet die Erweiterung des Vorgehensmodells durch zusätzliche Methoden und Tools zur detaillierten Bewältigung der Schritte. In diesem Zuge könnte ein Bewertungssystem entwickelt werden, welches für verschiedene Anwendungsfälle, die besten geeigneten Tools liefert.

Die Wirksamkeit des Vorgehensmodells ist anhand eines Unternehmens, das intelligente, fahrerlose Transportsysteme entwickelt und produziert, evaluiert worden. Das, in Abbildung 36, präsentierte, generell dargestellte Vorgehensmodell lässt sich für andere Fälle replizieren. Dabei können sich die Details der Schritte für andere Anwendungsfälle ändern. Deren Umsetzung dieser bietet Raum für weitere Publikationen und Fallstudien.

## 7 Literaturverzeichnis

AGILOX Services GmbH. (2022, 14. September). *Produkt Agilox One*. Agilox. Abrufdatum: 14. September 2022. <https://www.agilox.net/produkt/agilox-one/>

APRA Europe and ReMaTec (RAI Amsterdam) (2019). *Three key aftermarket trends that challenge warehouse distributors and wholesalers*. APRA Europe. Abrufdatum: 25. January 2022. <https://apraeurope.org/knowledge/>

Baker, M. J. (2000): Writing a Literature Review. *The Marketing Review*, 1 (2), S. 219–247. <https://doi.org/10.1362/1469347002529189>

Balde, C. P. (2015). *The global e-waste monitor 2014 – Quantities, flows and resources*. United Nations University. Bonn, Germany.

Bao, Z., Li, W., Gao, M., Liu, C., Zhang, X. & Cai, W. (2020). An Integrated Optimization Decision Method for Remanufacturing Process Based on Conditional Evidence Theory Under Uncertainty. *IEEE Access*, 8, 221119–221126. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3042533>

Barker, S., King, A. (2007). Coherent Design Rationale and its importance to the Remanufacturing Sector. In: Takata, S., Umeda, Y. (eds) *Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses*. Springer, London. 225 –230. [https://doi.org/10.1007/978-1-84628-935-4\\_39](https://doi.org/10.1007/978-1-84628-935-4_39)

Baustani, A., Sahni, S., Graves, S.-C., & Gutowski, T.-G. (2010). Appliances Remanufacturing and Life Cycle Energy and Economic Savings. In: *The International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST)*.

Becker, J., Beverungen, D., Winter, M. & Menne, S. (2019). *Umwidmung und Weiterverwendung von Traktionsbatterien*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-21021-2>

Bettinelli, M., Ocelllo, M., Genthial, D. & Brissaud, D. (2020). A decision support framework for remanufacturing of highly variable products using a collective intelligence approach. *Procedia CIRP*, 90, 594–599. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.06.003>

Bocksch, R. (2022, 24. März). *Die Welt ist nicht genug*. Statista GmbH. Abrufdatum: 27. July 2022. <https://de.statista.com/infografik/10574/benoetigte-erden-je-lebensstil-ausgewaehlter-laender/>

Boorsma, N., Balkenende, R., Bakker, C., Tsui, T. & Peck, D. (2021). Incorporating design for remanufacturing in the early design stage: a design management

perspective. *Journal of Remanufacturing*, 11(1), 25–48.  
<https://doi.org/10.1007/s13243-020-00090-y>

Bringezu, S., Ramaswami, A., Schandl, H., O'Brien, M., Pelton, R., Acquatella, J., Ayuk, E., Chiu, A., Flanegin, R., Fry, J., Giljum, S., Hashimoto, S., Hellweg, S., Hosking, K., Hu, Y., Lenzen, M., Lieber, M., Lutter, S., Miatto, A., Singh Nagpure, A., Obersteiner, M., van Oers, L., Pfister, S., Pichler, P., Russell, A., Spini, L., Tanikawa, H., van der Voet, E., Weisz, H., West, J., Wijkman, A., Zhu, B., Zivy, R. (2017). *Assessing global resource use: A systems approach to resource efficiency and pollution reduction. A Report of the International Resource Panel. United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya. ISBN: 978-92-807-3677-9*

British Standard Institution. (2017). *Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations – Guide. BS 8001:2017.*

vom Brocke, J., Simons, A., Niehaves, B., Riemer, K., Plattfaut, R. & Cleven, A. (2009). *Reconstructing the Giant: On the Importance of Rigour in Documenting the Literature Search Process.* In: *Proceedings of the 17th European Conference on Information Systems.* Eds. 2009, 2206–2217.

Brooke, J. (1996). *SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale.* In P. W. Jordan, B. Thomas, I. L. McClelland & B. Weerdmeester (Hrsg.), *Usability Evaluation In Industry* (S. 207–212). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781498710411-35>

Brundtland, G., Khalid, M., Agnelli, S., Al-Athel, S., Chidzero, B., Fadika, L., Singh, M. (1987). *Our Common Future - 'Brundtland report'.*

Bullinger, H.-J., Spath, D., Warnecke, H.-J., Westkämper, E. (2009). *Handbuch Unternehmensorganisation – Strategien, Planung, Umsetzung.* 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-72136-9.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz (2020, 12. Februar). *Gesetzesentwurf eines Gesetzes zur Umsetzung der Abfallrahmenrichtlinie der Europäischen Union.* BMUV. Abrufdatum: 03. August 2022. <https://www.bmu.de/gesetz/entwurf-eines-gesetzes-zur-umsetzung-der-abfallrahmenrichtlinie-der-europaeischen-union>

Burggräf, P., Wagner, J., Heinbach, B. & Wigger, M. (2021). *Design of a Methodological Framework for Adaptive Remanufacturing-based Business Models.* *Procedia CIRP*, 98, 547–552. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.149>

Busch, M., Graberg, T. (2021). *Sustainable Production Ordnungsrahmen zur Gestaltung von Nachhaltigkeit in produzierenden Unternehmen.* *ZWF* 116 (2021) 4, 203–207. <https://doi.org/10.1515/zwf-2021-0043>

Cao, H., Du, Y., Liu, F., Shu, L. & Chen, X. (2012). Customised design of remanufactured products and optimisation model for cores reuse. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 25(8), 741–749. <https://doi.org/10.1080/0951192X.2012.665183>

Cooper, H. M. (1988). Organizing knowledge syntheses: A taxonomy of literature reviews. *Knowledge in Society*, 1(1), 104–126. <https://doi.org/10.1007/BF03177550>.

Demirel, N.-Ö., Gökçen, H. (2008). A mixed integer programming model for remanufacturing in reverse logistics environment. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 39(11-12), 1197-1206.

Du, Y., Zheng, Y., Wu, G., Tang, Y. (2020). Decision-making method of heavy-duty machine tool remanufacturing based on AHP-entropy weight and extension theory. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119607. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119607>

ECODESIGN company engineering and management consultancy GmbH. (2022, 14. September). *ECODESIGN+*. Abrufdatum: 14. September 2022. <https://www.ecodesign-company.com/en/ecodesign-plus-en/about-en>

Elkington, J. (1994). Towards the Sustainable Corporation: Win-Win-Win Business Strategies for Sustainable Development. In: *California Management Review*, 36(2), 90-100.

Elkington, J. (1997). *Cannibals with forks. The triple bottom line of 21st century.* Capstone Publications.

Ellen MacArthur Foundation. (2014). *Towards the circular economy. Accelerating the scale-up across global supply chains.* Geneva, Switzerland.

Ellen MacArthur Foundation. (2017a). *What can I do within my business.* Abrufdatum: 14. Mai 2022. <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/explore/what-can-i-do-within-my-business>

Ellen MacArthur Foundation. (2017b). *Building Blocks – Circular economy design, business models, reverse cycles and enabling conditions are essential.* Abrufdatum: 03. August 2022. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/concept/building-blocks>

Elodie, S., Nabil, A., Borodin, V. (2020). Towards circular economy in production planning: Challenges and opportunities. *European Journal of Operational Research* 287, 168–190.

Europäische Kommission. (2019, 11. Dezember). *Ein europäischer Grüner Deal*.  
Abrufdatum: 03. August 2022.  
[https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP\\_19\\_6691](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/IP_19_6691)

Fleischmann, M., Krikke, R.-H., Dekker, R., Flapper, S.-D.-P. (2000). A characterisation of logistics networks for product recovery. *Omega*, vol. 28(6), 653-666.

Gandhi, M. (1964) *The Collected Works of Mahatma Gandhi*, Volume XII, April 1913 to December 1914, Chapter: General Knowledge About Health XXXII: Accidents Snake-Bite. From Gujarati, *Indian Opinion*, 9-8-1913

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of cleaner production*, 143, 757-768.

Gell, M. (2008). *Carbon Footprints and Ecodesign of Toner Cartridges*. UK: Xanfeon Energy & Environmental Services.

Goepp, V., Zwolinski, P., Caillaud, E. (2014). Design process and data models to support the design of sustainable remanufactured products. *Computers in Industry*, 65(3), 480–490. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2014.02.002>

Goldey, C.-L., Kuester, E.-U., Mummert, R., Okrasinski, T.-A., Olson, D., Schaeffer, W.-J. (2010). Lifecycle assessment of the environmental benefits of remanufactured telecommunications product within a "green" supply chain. *Symposium*, 1-6.

Goodall, P., Rosamond, E., Harding, J. (2014). A review of the state of the art in tools and techniques used to evaluate remanufacturing feasibility. *Journal of Cleaner Production*, 81, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.014>

Guidat, T., Uoti, M., Tonteri, H., Määttä, T. (2015). A classification of remanufacturing networks in Europe and their influence on new entrants. In: *Procedia CIRP*, vol. 26, 683-688.

Guidat, T. (2017). *Guidelines for the implementation of Lean and MTM techniques in remanufacturing factory planning*. Technische Universität Berlin

Helfferich, C. (2011). *Die Qualität qualitativer Daten. Manual für die Durchführung qualitativer Interviews*. Wiesbaden: VS Verlag. Print-ISBN: 978-3-531-17382-5, E-Book-ISBN: 978-3-531-92076-4. <https://doi.org/10.1007/978-3-531-92076-4>

Helfferich, C. (2019). Leitfaden- und Experteninterviews. In: Baur, N., & Blasius, J. (Hrsg.): *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 669–686. Print-ISBN: 978-3-658-21307-7, E-Book-ISBN: 978-3-658-21308-4. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-21308-4>

Hermann, F., Hatak, I. (2014). How to Get Published in the Best Entrepreneurship Journals, 94-117 Chapter: Doing a Research Literature Review Publisher: Elgar, E. Editors: Fayolle, A. & Wright, M.

Herrmann, C., Luger, T., Walthers, G., Spengler, T., Steinborn, J., Schöps, D., Brünnig, R., Mücke, S., Wentland, A. K., Kratel, W. (2008) Empirical study on consumer acceptance and product return behavior. In: Proceedings of the 1st World ReUse Forum, 18-24.

Herrmann, C., Vetter, O. (2021). *Ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands – Remanufacturing von Produkten*. Abrufdatum: 10. Mai 2022 [https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user\\_upload/1\\_Themen/h\\_Publikationen/Studien/VDI-ZRE\\_Studie\\_Remanufacturing\\_Web\\_bf.pdf](https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Studien/VDI-ZRE_Studie_Remanufacturing_Web_bf.pdf)

Hevner, A.R., March, S.T., Park, J. & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly, 28 (1), 75-105.

IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp doi:10.1017/9781009325844.

Kara, H. (2010). Comparative Carbon Footprint Analysis of New and Remanufactured Inkjet Cartridges. Center for Remanufacturing and Reuse.

Kerr, W., Ryan, C. (2001). Eco-efficiency gains from remanufacturing: A case study of photocopier remanufacturing at Fuji Xerox Australia. Journal of Cleaner Production, vol. 9, 75-81.

Kurilova-Palisaitiene, J., Sundin, E., Poksinska, B. (2018). Remanufacturing challenges and possible lean improvements. Journal of Cleaner Production, 172, 3225–3236. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.023>

Kurilova-Palisaitiene, J., Vogt Duberg, J., Johansson, G., Sundin, E. (2020). How an OEM Can Become Circular with Remanufacturing: The Case of Robotic Lawn Mowers. In K. Säfsten & F. Elgh (Hrsg.), Advances in Transdisciplinary Engineering. SPS2020. IOS Press. <https://doi.org/10.3233/ATDE200164>

Kurilova-Palisaitiene, J. (2021). On Remanufacturing Readiness Level - An introduction to a Remometer™. Procedia CIRP, 98, 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.011>



Kitchenham, B., Charters, S. (2007). Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering, Keele University/University of Durham.

Lahrou, Y., Brissaud, D., Zwolinski, P. (2019). The strategy for implementing remanufacturing process in a commercial enterprise, the case study of a French company. *Procedia CIRP*, 80, 554–559. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.01.046>

Lange, U. (2017): *Ressourceneffizienz durch Remanufacturing – Industrielle Aufarbeitung von Altteilen*. Abrufdatum: 3. August 2022. [https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user\\_upload/1\\_Themen/h\\_Publikationen/Kurzanalysen/VDI\\_ZRE\\_Kurzanalyse\\_18\\_Remanufacturing\\_bf.pdf](https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Kurzanalysen/VDI_ZRE_Kurzanalyse_18_Remanufacturing_bf.pdf)

Leonard, A., Conrad, A. (2011). *The story of stuff – The impact of overconsumption on the planet, our communities, and our health - and how we can make it better*. Free Press, New York.

Lekurwale, R.-R., Akarte, M.-M., Raut, D.-N. (2015). Framework to evaluate manufacturing capability using analytical hierarchy process. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 76, 565-576.

Lindahl, M., Sundin, E., Östlin, J. (2006). Environmental Issues within the Remanufacturing Industry. In: *CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, Leuven, Belgium, 447-452.

Lovins, A. B., Lovins, L. H., Hawken, P. (1999). A roadmap for natural capitalism. In: *Harvard business review*, 77(3), 145-158.

Lüdeke-Freund, F., Gold, S., Bocken, N. M. (2019). A review and typology of circular economy business model patterns. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 36-61.

Matsumoto, M., Umeda, Y. (2011). An Analysis of Remanufacturing Practices in Japan. *Journal of Remanufacturing*, vol. 1(1), 1–11.

Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse*. Weinheim und Basel: Beltz Verlag. ISBN: 978-3407255334

Meuser, M., Nagel, U. (1991). ExpertInneninterviews — Vielfach erprobt, wenig bedacht. In Garz, D., & Kraimer, K. (Eds.). *Qualitativ-empirische Sozialforschung: Konzepte, Methoden, Analysen*, 71–93. Westdeutscher Verlag. ISBN: 978-3531122892

Miltenburg, J. (2008). Setting manufacturing strategy for a factory-within-a-factory. *International Journal of Production Economics*, vol. 113(1), 307-323.

Murray, A., Skene, K., Haynes, K. (2008). The circular economy: An interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, vol. 140(3), 369-380.

Nasr, N.Z., Russel, J-D. (2018). *Redefining value - The Manufacturing Revolution. Remanufacturing, Refurbishment, Repair and Direct Reuse in a Circular Economy. UN Environment and International Resource Panel*. Abrufdatum: 25. Januar 2022. <https://www.resourcepanel.org/reports/re-defining-value-manufacturing-revolution>

New Zealand Government (2019, 30. Mai). *The Wellbeing Budget 2019*. Abrufdatum: 28. Juli 2022. <https://www.treasury.govt.nz/publications/wellbeing-budget/wellbeing-budget-2019-html#reference-1>

Osann, I., Mattheis, H. (2021). Workbook Kreislaufwirtschaft Innovation entwickeln – Transformation gestalten mit Methoden, Tools & Checklisten!, Print-ISBN: 978-3-446-47051-4, E-Book-ISBN: 978-3-446-47141-2.

Osterwalder, A., Pigneur, Y. (2010). *Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers*. John Wiley & Sons.

Östlin, J. (2008). On remanufacturing systems: analysing and managing material flows and remanufacturing processes. Doctoral dissertation, Institutionen för ekonomisk och industriell utveckling, Linköping.

Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., et al. (2020) The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Peppers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M.A., Chatterjee, S. (2007). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems* 24, 45-77.

Peng, S., Li, T., Li, M., Guo, Y., Shi, J., Tan, G. Z., Zhang, H. (2019). An integrated decision model of restoring technologies selection for engine remanufacturing practice. *Journal of Cleaner Production*, 206, 598–610. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.176>

Potting, J., Hekkert, M. P., Worrell, E., Hanemaaijer, A. (2017). *Circular economy: measuring innovation in the product chain* (No. 2544). PBL Publishers.

Schandl, H., West, J. (2010). Resource use and resource efficiency in the Asia-Pacific region. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 20(4): 636-647.

Seitz, M.-A. (2007). A critical assessment of motives for product recovery: the case of engine remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, vol. 15(11-12), 1147-1157.

Seliger, G., Weinert, N., Zettl, M. (2007). Module Configurator for the Development of Products for Ease of Remanufacturing. In: Takata, S., Umeda, Y. (eds) *Advances in Life Cycle Engineering for Sustainable Manufacturing Businesses*. Springer, London. 47–52. [https://doi.org/10.1007/978-1-84628-935-4\\_9](https://doi.org/10.1007/978-1-84628-935-4_9)

Seliger, G. (2010). Emerging Markets bei materialen Grenzen des Wachstums - Chancen nachhaltiger Wertschöpfung. *Acatech diskutiert* (Ed.), *Wertschöpfung und Beschäftigung in Deutschland*, 35–46.

Sitcharangsie, S., Ijomah, W., Wong, T. C. (2019). Decision makings in key remanufacturing activities to optimise remanufacturing outcomes: A review. *Journal of Cleaner Production*, 232, 1465–1481. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.204>

Slaper, T. F., Hall, T. J. (2011). The triple bottom line: what is it and how does it work?

Sphera (2020, 13. Mai). *What Is a Circular Economy?* Sphera Solutions. Abrufdatum: 01. August 2022. <https://sphera.com/glossary/what-is-a-circular-economy/>

Steinberger, J.K., Krausmann, F., Eisenmenger, N. (2010). Global patterns of materials use: A socioeconomic and geophysical analysis. *Ecological Economics* 69, 1148-1158.

Stiftung Familienunternehmen (Hrsg.). (2021). *Circular Economy in Familienunternehmen – Herausforderungen, Lösungsansätze und Handlungsempfehlungen*. Erstellt von der Stiftung 2°, Fraunhofer CeRRI, Fraunhofer IMW und Fraunhofer UMSICHT, München. Abrufdatum: 14. Juli 2022. <https://www.familienunternehmen.de/media/public/pdf/publikationen-studien/studien/Circular-Economy-in-Familienunternehmen-Studie-Stiftung-Familienunternehmen.pdf>

Sundin, E., Lee, H. (2011). In what way is remanufacturing good for the environment?. In: *Proceedings of the 7th International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing (EcoDesign-11)*, Kyoto, Japan.

Sundin, E., Sakao, T., Lindahl, M., Kao, C., Joungerious, B., Ijomah, W. (2016). *Map of Remanufacturing Business Model Landscape*. Report from the Horizon 2020 project Remanufacturing Network, Grant Agreement No 645984.

Sundin, E., Tyskeng, S. (2003). Inverse Manufacturing at Electrolux or Recycling at Local Facilities? -A Comparison from Environmental and Economic Perspectives. In: *Proceedings of EcoDesign 2003*, Tokyo, Japan.

Tchertchian, N., Millet, D. Pialot, O. (2013). Modifying module boundaries to design remanufacturable products: the modular grouping explorer tool. *Journal of Engineering Design*, 24(8), 546–574. <https://doi.org/10.1080/09544828.2013.776671>

Technopolis Group (2016). *Regulatory barriers for the Circular Economy: Lessons from ten case studies*. Technopolis Group in consortium with Fraunhofer ISI, thinkstep and Wuppertal Institute. Abrufdatum: 14. September 2022. <https://www.technopolis-group.com/wp-content/uploads/2020/02/Regulatory-barriers-for-the-circular-economy.pdf>

Toffel, M.-W. (2004). Strategic Management of Product Recovery. California Management Review, vol. 46(2), 120-141.

United Nations Environment Programme (2011). Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth, A Report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel.

United Nations Environment Programme (2022, 07. Februar). Beyond GDP: making nature count in the shift to sustainability. Abrufdatum: 01. September 2022. <https://www.unep.org/news-and-stories/story/beyond-gdp-making-nature-count-shift-sustainability>

VDI 2343 Blatt 3:2009-04: Verein Deutscher Ingenieure e.V. (2009). Recycling elektrischer und elektronischer Geräte – Demontage. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI 2870-2 Verein Deutscher Ingenieure e.V. (2013). Ganzheitliche Produktionssysteme – Methodenkatalog. Beuth Verlag GmbH, Berlin.

Wei, S., Tang, O., Sundin, E. (2015). Core (product) Acquisition Management for remanufacturing: a review. Journal of Remanufacturing, vol. 5(4), 1-27.

Williams, E., Kahhat, R., Allenby, B., Kavazanjian, E., Kim, J., Xu, M. (2008). Environmental, social, and economic implications of global reuse and recycling of personal computers. In: Environmental Science & Technology, 42(17), 6446-6454.

Zhang, X., Xu, L., Zhang, H., Jiang, Z., Cai, W. (2021). Emergy based intelligent decision-making model for remanufacturing process scheme integrating economic and environmental factors. Journal of Cleaner Production, 291, 125247. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125247>

Zott, C., Amit, R., Massa, L. (2011). The business model: Recent developments and future research. Journal of Management, 37(4), 1019-1042.

## 8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Benötigte Erden (Bocksch, 2022).....	2
Abbildung 2: Design Science Research Methode (DSRM) Prozessmodell (Peffer et al., 2007, S. 54) .....	5
Abbildung 3: Aufbau der Arbeit.....	6
Abbildung 4: Globale Ressourcenextraktion in vier Hauptmaterialkategorien 1970 bis 2017 (Bringezu et al., 2017, S.29).....	8
Abbildung 5: Zusammenhang Lebensstandard und Ressourcenverbrauch (Seliger, 2010) .....	9
Abbildung 6: 3-Säulen der Nachhaltigkeit (Elkington, 1997) .....	11
Abbildung 7: Global Material-, Arbeits- und Energieproduktivität (Bringezu et al., 2017, S.30).....	12
Abbildung 8: Konzept der Entkopplung (United Nations Environment Programme, 2011). .....	14
Abbildung 9: Modell der linearen Wirtschaft (Sphera, 2020) .....	15
Abbildung 10: Modell der Kreislaufwirtschaft (Sphera, 2020).....	15
Abbildung 11: Darstellung der 10 R-Strategien (Potting et al., 2017).....	16
Abbildung 12: Generisches Geschäftsmodell (Zott et al., 2011) .....	17
Abbildung 13: Morphologischer Kasten für Kreislaufwirtschaft Geschäftsmodelle (Lüdeke-Freund et al., 2019) .....	18
Abbildung 14: Kreislaufwirtschaft-Strategien im Stoffstrom-Kreislauf (Stiftung Familienunternehmen, 2021, S.8) .....	19
Abbildung 15: Remanufacturing im Produktlebenszyklus (Herrmann & Vetter, 2021, S. 23) .....	21
Abbildung 16: Bausteine einer Kreislaufwirtschaft (MacArthur, 2017b) .....	22
Abbildung 17: Remanufacturing-Prozess (Herrmann et al., 2008).....	24
Abbildung 18: Schritte systematische Literaturrecherche (vgl. Herrmann & Hatak, 2014, S. 106).....	29
Abbildung 19: State of the Art PRISMA Flow (vgl. Page et al., 2020, S. 5).....	37
Abbildung 20: Strategie zur Implementierung von Remanufacturing für unabhängige Remanufacturingunternehmen (vgl. Lahrou et al., 2019, S. 558) .....	39
Abbildung 21: 7 Phasenmodell (Osann & Mattheis, 2021, S.6 - 9) .....	41
Abbildung 22: DSRM - Problem identifizieren (Peffer et al., 2007, S. 54) .....	44
Abbildung 23: DSRM – Ziel definieren (Peffer et al., 2007, S. 54) .....	45
Abbildung 24: Überblick End of Life Strategien (vgl. Herrmann & Vetter, 2021, S. 18; Becker et al., 2019, S.25 – 26) .....	48
Abbildung 25: Kritischer Bereiche und Unterbereiche für die Einführung von Remanufacturing bei OEMs (vgl. Kurilova-Palisaitiene, 2020, S. 268) .....	54
Abbildung 26: Materialreduktion durch die Zusammenfassung (Mayring, 2010, S.85) .....	58

Abbildung 27: DSRM – Entwerfen und Entwickeln (Peppers et al., 2007, S. 54).....	60
Abbildung 28: Schritte Vorgehensmodell .....	61
Abbildung 29: Schritt 1 Vorgehensmodell .....	61
Abbildung 30: Schritt 2 Vorgehensmodell .....	62
Abbildung 31: Schritt 3 Vorgehensmodell .....	63
Abbildung 32: Schritt 4 Vorgehensmodell .....	63
Abbildung 33: Schritt 5 Vorgehensmodell .....	64
Abbildung 34: Schritt 6 Vorgehensmodell .....	64
Abbildung 35: Schritte Vorgehensmodell .....	65
Abbildung 36: Vorgehensmodell „Generelle Darstellung der Schritte“ .....	67
Abbildung 37: Beispiel Wertstromanalyse (VDI 2870-2, 2013, S. 77).....	74
Abbildung 38: Remanufacturing Wertstromanalyse (Guidat, 2017, S. 141).....	75
Abbildung 39: Framework zur Adaptierung vom Geschäftsmodell (Burggräf et al., 2021, S. 549).....	84
Abbildung 40: DSRM – Demonstration (Peppers et al., 2007, S. 54).....	90
Abbildung 41: Agilox One (Agilox, 2022).....	91
Abbildung 42: DSRM – Evaluierung (Peppers et al., 2007, S. 54).....	101
Abbildung 43: Auswertung Fragebogen in Anlehnung an den System Usability Scale .....	103

## 9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ansatzpunkte für Geschäftsmodelle durch Adaption der R-Strategien (vgl. Stiftung Familienunternehmen, 2021, S.9) .....	20
Tabelle 2: Arten von Remanufacturingunternehmen (Sundin et al., 2016, S. 12) .....	27
Tabelle 3: Datenbanken Literaturrecherche .....	30
Tabelle 4: Suchbegriffe.....	30
Tabelle 5: Auswahlkriterien .....	31
Tabelle 6: Suchschwerpunkte .....	32
Tabelle 7: Suchschwerpunkte bei ScienceDirect .....	34
Tabelle 8: Anzahl Suchergebnisse Englisch .....	35
Tabelle 9: Anzahl Suchergebnisse Deutsch.....	35
Tabelle 10: Anzahl Suchergebnisse nach Bewertung.....	36
Tabelle 11: Zusammenfassung Ergebnisse der Literaturrecherche .....	42
Tabelle 12: Ursprung kritischer Bereiche für die Einführung von Remanufacturing bei OEMs (vgl. Kurilova-Palisaitiene et al., 2020, S. 268).....	51
Tabelle 13: Übersicht der Personen für die Experteninterviews.....	55
Tabelle 14: Schema des Leitfadens (vgl. Helfferich, 2019, S.678).....	55
Tabelle 15: Leitfaden für Experteninterview (vgl. Helfferich, 2019, S.678).....	56
Tabelle 16: Anforderungen an das Modell.....	59
Tabelle 17: Bewertungsmatrix Produkt (vgl. Herrmann & Vetter, 2021, S. 39) .....	68
Tabelle 18: Bewertungsmatrix Kunden (vgl. Kurilova-Palisaitiene, 2021, S. 95).....	77
Tabelle 19: Bewertungsmatrix Geschäftsmodell (vgl. Herrmann & Vetter, 2021, S. 40) .....	81
Tabelle 20: Technische Details Agilox One (Agilox, 2022).....	92
Tabelle 21: Bewertungsmatrix Produkt Agilox One .....	93
Tabelle 22: Bewertungsmatrix Kunden Agilox One .....	97
Tabelle 23: Bewertungsmatrix Geschäftsmodell Agilox One.....	98

## 10 Abkürzungsverzeichnis

BIP	Bruttoinlandsprodukt
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
kg CO <sub>2</sub> -eq	Kilogramm Kohlenstoffdioxid- äquivalent
d.h.	das heißt
DSRM	Design Science Research Methode
engl.	English
et al.	und andere
ff.	fortfolgende
FTS	fahrerlose Transportsysteme
Hrsg.	Herausgeber
kg	Kilogramm
LCA	Life Cycle Assessment
max.	maximal
min.	mindestens oder minimal
mm	Millimeter
n	Anzahl
OEM	Ursprüngliches Produktionsunternehmen
pos.	positive
RRL	Remanufacturing Readiness Level
soz.	soziale
SUS	System Usability Scale
u.	und
USD	US-Dollar
vs.	versus
wirt.	wirtschaftliche
z.B.	zum Beispiel