

Schlussbericht vom 31.12.2025

zum IGF-Vorhaben 01IF22626N

Thema

Entwicklung einer Methode zur Entscheidungsunterstützung für kleine und mittelständische Unternehmen bei der Einführung von Remanufacturing in globalen Wertschöpfungsnetzwerken

Berichtszeitraum

01.01.2023 bis 31.12.2025

Forschungsvereinigung

Bundesvereinigung Logistik (BVL) e.V.
Schlachte 31
28195 Bremen

Forschungseinrichtung(en)

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
wbk Institut für Produktionstechnik

Kaiserstraße 12
76131 Karlsruhe



Inhaltsverzeichnis

1	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	3
1.1	Arbeitspaket 1: Entwicklung einer Methode zur Identifikation und Priorisierung Remanufacturing-geeigneter Produkte	3
1.2	Arbeitspaket 2: Charakterisierung des Wertschöpfungsnetzwerks und zukünftiger Potentiale hinsichtlich Produktrückführung	4
1.3	Arbeitspaket 3: Entwicklung einer Methode zur Implementierung eines Beschaffungsmanagements für Gebrauchtprodukte	6
1.4	Arbeitspaket 4: Aufbau einer simulationsbasierten Optimierung von Wertschöpfungsnetzwerken inklusive Remanufacturing	7
1.5	Arbeitspaket 5: Multikriterielle Bewertung und Ableitung von Umfang und Zeitpunkt der notwendigen WSN-Anpassungen	10
1.6	Arbeitspaket 6: Erstellung eines anwenderfreundlichen Softwaredemonstrators und Praxisleitfadens	11
1.7	Arbeitspaket 7: Begleitendes Projektmanagement sowie Dokumentation und Veröffentlichung 13	
2	Verwendung der Zuwendung	14
3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	14
4	Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten	15
5	Wissenstransfer in die Wirtschaft	16
6	Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft	16
6.1	Durchgeführte Transfermaßnahmen (vom Projektstart bis zum Projektende)	17
6.2	Geplante Transfermaßnahmen (nach Projektende)	18
7	Literaturverzeichnis	18

1 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die nachfolgenden Abschnitte stellen die im Projekt durchgeführten Arbeiten und die erzielten Ergebnisse arbeitspaketspezifisch dar. Sie zeigen, wie ausgehend von der Produktauswahl eine durchgängige Methodik zur Unterstützung von Unternehmen bei der Einführung von Remanufacturing in Wertschöpfungsnetzwerken entwickelt, validiert und in anwendungsnahe Werkzeuge überführt wurde. Dabei wurden sowohl methodische Grundlagen als auch konkrete Erkenntnisse zu geeigneten Produktgruppen, Rückführungsstrukturen, Geschäftsmodellen, Netzwerktypen und Entscheidungslogiken erarbeitet.

1.1 Arbeitspaket 1: Entwicklung einer Methode zur Identifikation und Priorisierung Remanufacturing-geeigneter Produkte

Ziel des Arbeitspakets 1 war die Entwicklung einer Methode, mit der Unternehmen Remanufacturing-geeignete Produkte identifizieren und innerhalb ihres Produktportfolios priorisieren können. Die Produktauswahl war als Grundlage für die nachfolgenden Arbeitspakete vorgesehen, da sich sowohl die Gestaltung der Produktrückführung als auch der Aufbau eines geeigneten Beschaffungsmanagements und die Auslegung des Wertschöpfungsnetzwerks auf konkrete Produktgruppen beziehen.

Im Rahmen des Arbeitspakets wurden die Anforderungen an eine belastbare Bewertung der Remanufacturing-Eignung strukturiert erhoben und in einem Kriterienmodell zusammengeführt. Im Mittelpunkt steht eine ganzheitliche Betrachtung, die nicht auf technische Eigenschaften beschränkt blieb, sondern die wirtschaftliche Umsetzbarkeit, regulatorische Randbedingungen, ökologische Auswirkungen sowie soziale und organisatorische Aspekte einbezog. Auf dieser Grundlage entstand ein mehrstufiges Bewertungsmodell, das zunächst grundlegende Ausschlussgründe erfasst und anschließend die verbleibenden Produkte differenziert bewertet. Dadurch konnte eine erste Selektion ungeeigneter Produkte vorgenommen und zugleich eine belastbare Reihenfolge geeigneter Produkte abgeleitet werden. Die entwickelte Methode wurde so ausgestaltet, dass sowohl die Heterogenität industrieller Produktportfolios als auch die begrenzten Ressourcen kleiner und mittlerer Unternehmen berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck wurden die bewertungsrelevanten Merkmale in inhaltlich nachvollziehbare Kategorien gegliedert und mit einer einheitlichen Bewertungslogik hinterlegt. Auf Produktebene flossen unter anderem Merkmale wie Aufbau, Demontierbarkeit, Komponentenanzahl, Standardisierungsgrad, Materialeigenschaften und erwartbare Rückführbarkeit ein. Ergänzend wurden wirtschaftliche Kenngrößen aufgenommen, die Aussagen zur Profitabilität der Wiederaufarbeitung ermöglichen. Dadurch entstand eine Methode, die nicht nur die generelle Eignung eines Produkts für Remanufacturing beschreibt, sondern zugleich eine Priorisierung im Hinblick auf die praktische Einführung erlaubt. Ein wesentlicher methodischer Fortschritt liegt in der Überführung dieser Bewertungslogik in ein anwenderfreundliches Werkzeug. Im Projekt wurde ein Excel-basierter Demonstrator aufgebaut, mit dem die identifizierten Kriterien strukturiert erfasst, gewichtet und zu einem Gesamtbild verdichtet werden können. Die Bewertung mündet in einen aggregierten Score, der die Eignung eines Produkts für Remanufacturing transparent darstellt und den Vergleich mehrerer Produkte oder Produktvarianten ermöglicht. Zusätzlich wurde die Methode um eine finanzielle Kalkulation ergänzt, mit der zentrale Einflussgrößen der Wirtschaftlichkeit abgebildet werden. Berücksichtigt werden dabei insbesondere aufarbeitungsbezogene Kostenstrukturen, investive und operative Aufwände, mögliche Preisniveaus wiederaufbereiteter Produkte sowie daraus ableitbare wirtschaftliche Kennzahlen. Auf diese Weise wurde die Produktauswahl nicht nur qualitativ, sondern auch quantitativ fundiert.

Neben der Bewertung der Eignung wurden im Projekt auch Ansätze zur Verbesserung der Remanufacturing-Fähigkeit einzelner Produkte ausgearbeitet. Dazu wurden die bewerteten Kriterien nicht nur als Prüfgrößen verwendet, sondern zugleich als Ausgangspunkt für konkrete Handlungsempfehlungen aufbereitet. Das Instrument wurde um eine Toolbox ergänzt, mit der produktspezifische Maßnahmen zur Erhöhung der wirtschaftlichen und ökologischen Eignung abgeleitet werden können. Dies betrifft beispielsweise Anpassungen an der Demontierbarkeit, an der Austauschbarkeit von Komponenten, an der Datenverfügbarkeit oder an den Voraussetzungen für die spätere Aufarbeitung. Damit wurde der in der Vorhabensbeschreibung angelegte Anspruch erweitert, nicht nur geeignete Produkte zu identifizieren, sondern auch Ansatzpunkte zu benennen, mit denen die Eignung bislang nur eingeschränkt geeigneter Produkte verbessert werden kann. Der Bewertungsansatz erhielt dadurch eine deutlich stärkere handlungsorientierte Funktion.

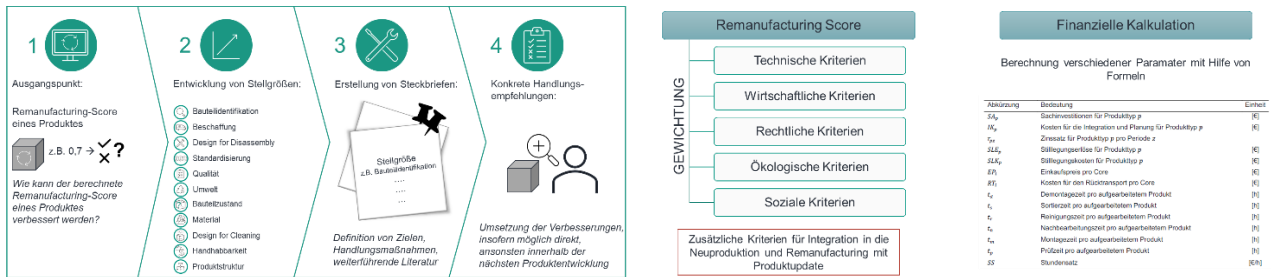


Abbildung 1: Aufbau der Methodik

Die Methode wurde im Projekt an 7 Industrieprodukten von 5 verschiedenen Unternehmen erprobt und in enger Abstimmung mit Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses weiterentwickelt. Die Rückmeldungen aus der Anwendung wurden genutzt, um Bewertungslogik, Eingabestruktur und Ergebnisausgabe zu präzisieren. Im Ergebnis entstand ein Werkzeug, das die Identifikation Remanufacturing-gerechter Produkte nachvollziehbar unterstützt, eine strukturierte Priorisierung im Portfolio ermöglicht und zugleich die wesentlichen wirtschaftlichen und nachhaltigkeitsbezogenen Fragestellungen in einer einheitlichen Form zusammenführt. Die Erkenntnisse wurden in einem Tool zusammengefasst und durch eine wissenschaftliche Veröffentlichung zusätzlich validiert.

1.2 Arbeitspaket 2: Charakterisierung des Wertschöpfungsnetzwerks und zukünftiger Potentiale hinsichtlich Produktrückführung

Ziel des Arbeitspakets war die Analyse der Rückwärtslogistik und damit die vertiefte Betrachtung des Wertschöpfungsnetzwerks im Hinblick auf die Produktrückführung. Zu Beginn des Arbeitspakets erfolgte daher eine systematische Untersuchung bestehender Ansätze zur Rückwärtslogistik und zur Gestaltung von Rückführungsnetzwerken im Remanufacturing. Die Betrachtung umfasste sowohl wissenschaftliche Beiträge zu Netzwerkstrukturen und Produktflüssen als auch praxisbezogene Best Practices aus industriellen Anwendungsfeldern. Auf dieser Grundlage entstand ein strukturiertes Verständnis darüber, welche Akteure, Prozesse und Schnittstellen für eine funktionierende Produktrückführung relevant sind und an welchen Stellen in bestehenden Wertschöpfungsnetzwerken typischerweise Hemmnisse auftreten. Besonderes Gewicht lag dabei auf der Frage, wie die Rückführung in globalen oder regional verteilten Netzwerken organisiert werden kann, wenn Rücklaufmengen, Rückgabezeitpunkte und Produktzustände nicht verlässlich planbar sind. Diese Unsicherheiten prägen Remanufacturing-Netzwerke in besonderem Maße und mussten deshalb, als konstitutiver Bestandteil der Analyse berücksichtigt werden. Aufbauend auf dieser Analyse wurden die relevanten Elemente des Rückführungsnetzwerks systematisch formalisiert. Dazu zählten die an der

Rückführung beteiligten Akteure, ihre Rollen innerhalb des Netzwerks, sowie die logistischen Knoten und Übergabepunkte entlang des Rückflusses. Im Projekt entstand damit ein Modell des Wertschöpfungsnetzwerks als vernetzten Prozess zwischen Kunden, Service- und Vertriebsseinheiten, Sammelstellen, Transportdienstleistern und Remanufacturing-Standorten, siehe Abbildung 2.

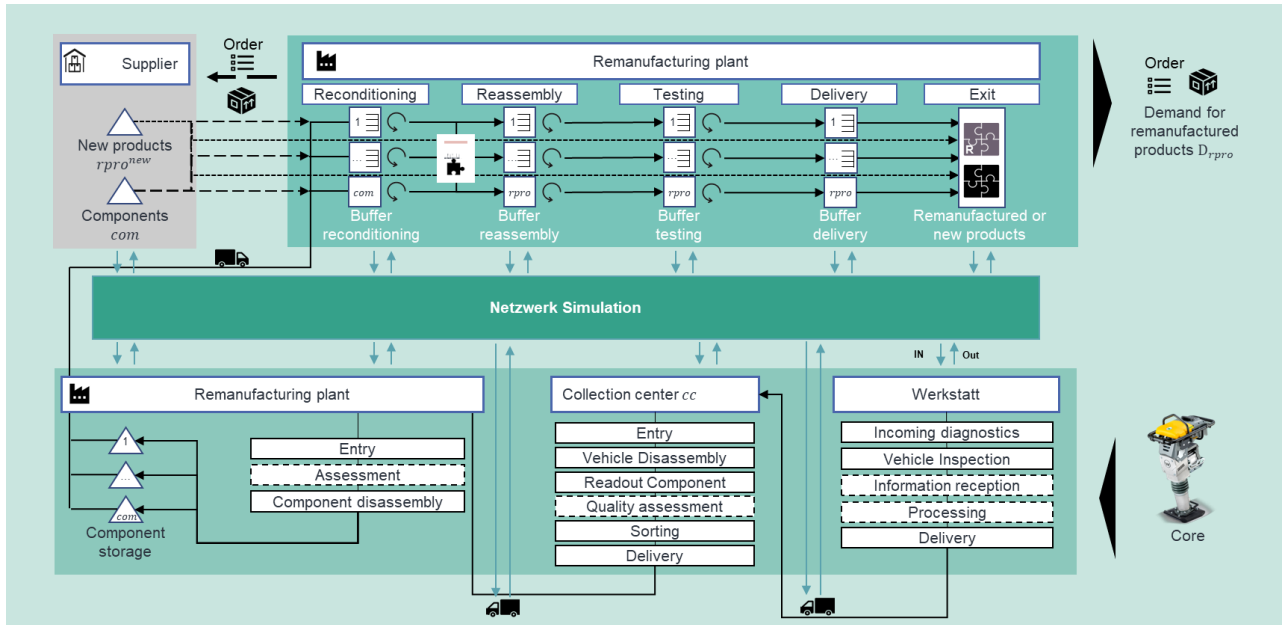


Abbildung 2: Aufbau des zirkulären Wertschöpfungsnetzwerks

Durch die literaturbasierte und durch Experteninterviews ergänzte systematische Erfassung der Treiber, Barrieren und Gestaltungspotenziale der Produktrückführung wurden acht inhaltliche Cluster gebildet. Diese umfassen finanzielle und ökonomische Rahmenbedingungen, Management und Strategie, politische und regulatorische Einflussgrößen, Infrastruktur und Technologie, Wissens- und Transparenzdefizite, markt- und wettbewerbsbezogene Faktoren, ökologische Anforderungen sowie die Zusammenarbeit innerhalb der Liefer- und Rückführungskette. Die Analyse zeigte, dass Hemmnisse und Potenziale nicht isoliert auftreten, sondern mehrere Dimensionen gleichzeitig betreffen und daher nur in einer integrierten Netzwerk Betrachtung adressiert werden können. Auf dieser Grundlage wurden die wesentlichen Gestaltungspotenziale der Produktrückführung konkretisiert. Als besonders relevant erwiesen sich die Nutzung bestehender Vertriebs- und Servicenetzwerke als Rücknahmestruktur, die Verknüpfung von Rücknahme- und Anreizsystemen, der Aufbau transparenter Informationsflüsse über Rücklaufmengen und Produktzustände sowie die Standardisierung von Identifikations-, Prüf- und Sortierprozessen. Ergänzend wurden verschiedene Kooperations- und Rückführungsmodelle betrachtet, darunter eigentumsbasierte, servicevertragsbasierte, pfand- und gutschriftbasierte sowie Buy-back-Ansätze. Dabei zeigte sich, dass keine dieser Formen isoliert allgemein überlegen ist. Ihre Eignung hängt vielmehr von Produktcharakteristik, Kundenbeziehung, gewünschtem Kontrollgrad über die Rückflüsse und dem organisatorischen Reifegrad des Unternehmens ab. Besonders robust erwies sich die Kombination mehrerer Beziehungsformen. Zudem wurde deutlich, dass Rückführungsstrategien besonders wirksam sind, wenn sie bereits im Verkauf oder in bestehenden Servicebeziehungen angelegt werden. Ergänzend wurden konkrete Hindernisse der Produktrückführung identifiziert. Dazu zählen der abnehmende Informationsfluss über Standort, Zustand und Nutzung der Produkte nach dem Verkauf, die schnelle Wertminderung bestimmter Produktgruppen, Integrationsprobleme entlang der vorgelagerten Lieferkette sowie die begrenzte Wirtschaftlichkeit bei großvolumigen Produkten

ohne ausreichende Wertdichte oder Bündelungskonzepte. Daraus wurden Verbesserungsansätze wie Anreizsysteme zur Produktlokalisierung, Pfand- und Gutschriftmodelle, die Nutzung bestehender Rücknahmepunkte, die Verkürzung von Lagerzeiten im Feld sowie der Einsatz digitaler Identifikationstechnologien abgeleitet. Für die strategische Ausgestaltung der Rückführungslogistik wurde zudem ein Planungsgerüst entwickelt, das von der Analyse des Rückführungskontexts über die Festlegung produktspezifischer Prozessschritte bis zur Zuordnung relevanter Akteure und Beziehungsformen reicht. Für den industriellen Anwendungsfall wurden Rücknahmepunkte an Händler- und Servicestandorten, Sammelstellen in kunden- und verkehrsnahen Regionen sowie eine konzentrierte Wiederaufarbeitung an logistisch angebundene Standorten empfohlen. Ergänzend wurde ein Kennzahlensystem definiert, das Durchlaufzeit, Ausbeute, Kostenreduktion, ökologische Wirkung und Lagerdauer umfasst. Damit wurde für AP2 nicht nur eine Charakterisierung des Wertschöpfungsnetzwerks, sondern auch eine belastbare Grundlage für die strategische Planung und spätere Modellierung der Produktrückführung geschaffen.

1.3 Arbeitspaket 3: Entwicklung einer Methode zur Implementierung eines Beschaffungsmanagements für Gebrauchtsprodukte

Ziel des Arbeitspakets war die Entwicklung einer Methode zur Ausgestaltung eines Beschaffungsmanagements für Gebrauchtsprodukte, um den Rückfluss von Cores für das Remanufacturing planbar und wirtschaftlich tragfähig zu gestalten. Im Projekt wurden dazu zunächst geeignete Quellen für Gebrauchtsprodukte sowie unterschiedliche Rückführungsstrategien strukturiert untersucht. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Sicherstellung ausreichender Rückläufe nicht allein von der Produktcharakteristik, sondern in hohem Maß von der Ausgestaltung des Geschäftsmodells, der Kundenbeziehung und der organisatorischen Einbindung der Rücknahme abhängt. Als zentrales Ergebnis wurden zwei grundlegende Typen rückflussgenerierender Ansätze herausgearbeitet: Take-back-Systeme und As-a-Service-Modelle. Take-back-Systeme erwiesen sich insbesondere für frühe zirkuläre Anwendungen als gut geeignet, da sie sich vergleichsweise einfach in bestehende Vertriebs- und Servicelogiken integrieren lassen und von Kunden über verschiedene Produktsegmente hinweg grundsätzlich akzeptiert werden. Mit zunehmendem Reifegrad der zirkulären Nutzung steigt die Attraktivität standardisierter Rücknahmelösungen, etwa in Verbindung mit Rückkauf-, Rabatt- oder Gutschriftmodellen. As-a-Service-Modelle bieten demgegenüber ein höheres wirtschaftliches Potenzial, setzen aber eine deutlich stärkere Passung zwischen Produkt, Nutzungsprofil und Kundenanforderung voraus. Darüber hinaus wurden konkrete Anforderungen an ein belastbares Beschaffungsmanagement identifiziert. Besonders relevant sind eine ausreichende Menge rückgeführter Produkte, eine frühzeitige Einbindung der Rücknahme in bestehende Kundenbeziehungen, transparente Informationen über Zustand und Verfügbarkeit der Produkte sowie technische Möglichkeiten zur Zustandsbewertung. Für batteriebezogene Anwendungsfälle wurde deutlich, dass die Umsetzbarkeit stark von der Möglichkeit abhängt, den Gesundheitszustand der Produkte verlässlich auszulesen und nachgelagerte Verwertungswege wirtschaftlich abzusichern. Zusätzlich wurden zentrale Gestaltungsfaktoren wie Modularität, langfristige Kompatibilität und Standardisierung als wichtige Voraussetzungen für ein wirksames Beschaffungsmanagement herausgearbeitet. Im Ergebnis wurde eine Methode erarbeitet, mit der Unternehmen geeignete Rückführungsstrategien auswählen und ihr Beschaffungsmanagement auf die jeweilige Produkt- und Marktsituation ausrichten können. Damit wurden die Ziele des Arbeitspakets erreicht: Die relevanten Bezugsquellen und Rückführungsstrategien für Gebrauchtsprodukte wurden identifiziert, ihre Eignung differenziert bewertet und in eine methodische Grundlage für die weitere Netzwerkgestaltung überführt. Zugleich entstand ein

zentraler Baustein zur Reduzierung der in Remanufacturing-Systemen typischen Unsicherheiten bezüglich Menge, Zeitpunkt und Qualität der Rückläufe.

1.4 Arbeitspaket 4: Aufbau einer simulationsbasierten Optimierung von Wertschöpfungsnetzwerken inklusive Remanufacturing

Ziel des Arbeitspakets war der Aufbau eines simulationsbasierten Modells, mit dem unterschiedliche Konfigurationen des Wertschöpfungsnetzwerks (WSN) einschließlich Rückführung und Remanufacturing hinsichtlich Kosten- und Umweltwirkungen vergleichbar bewertet werden können. Hierzu wurde ein dynamisches, stochastisches und diskretes Simulationsmodell entwickelt, das Werkstätten, Sammelstellen, Transporte, Lager und Remanufacturing-Standorte abbildet. Die Modellierung erfolgte auf Basis eines Konzept- und eines formalen Modells und wurde in Python mit SimPy umgesetzt. Formal ist das Modell an den folgenden Kosten orientiert.

01

Wiederaufbereitungskosten

= Inspektions- + Demontage- + Remanufacturing- + Remontage-Kosten

Kosten
= *Stundenlohn des jeweiligen Landes*
* *Arbeitszeit des Prozessschrittes*



02

Transportkosten

= Be- und Entladekosten + Transportkosten

Be- und Entladekosten
= *Beladung bei Werkstatt und Sammelzentrum*
+ *Entladung bei Sammelzentrum und Remanufacturing-Anlage*

04

Lagerkosten

= Werkstatt- + Sammelzentrum- + Demontage- + Neukomponenten- + Fertigprodukte-Lagerkosten

Kosten
= $\sum (\text{Palettenlänge} * \text{Palettenbreite} [\text{m}^2])$
* *Lagerkosten pro m² * Lagerfaktor*
* *Anzahl der Regale*



03

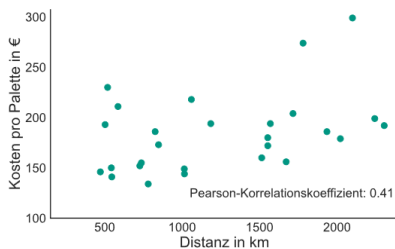
Abschreibungskosten

Kosten
= *Anzahl Remanufacturing-Anlagen*
* *Abschreibungskosten pro Remanufacturing-Anlage*

Abbildung 3: Kostenbestandteile des Simulationsmodells

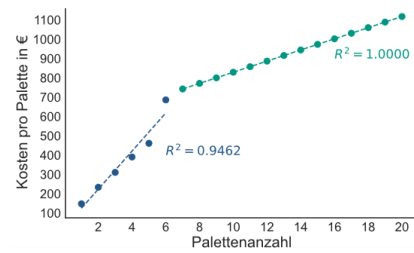
Als Eingangsgrößen wurden reale Distanz- und Transportkostendaten sowie unternehmensspezifische Annahmen aus dem industriellen Use Case verwendet. Bewertet wurden insbesondere Gesamtkosten, Transport-, Lager-, Wiederaufbereitungs- und Abschreibungskosten sowie CO₂-Emissionen und Palettenauslastung. Besonders hervorzuheben ist, dass die Transportkosten in hohem Maß von Start und Zielort, der konkreten Streckenführung sowie den jeweiligen länderspezifischen Rahmenbedingungen abhängen und sich daher nicht durch eine einfache lineare Distanzannahme hinreichend genau abbilden lassen. Um diese hohe Varianz realitätsnah zu erfassen, wurde ein internetbasiertes Programm entwickelt, das automatisiert Anfragen an die Webseiten von Logistikunternehmen stellt und dadurch eine große Anzahl unterschiedlicher Transportrelationen systematisch auswerten kann. Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse verdeutlichen, dass die Transportkosten keinem linearen Zusammenhang mit der Distanz folgen und eine differenzierte Abbildung der Transportstrecken daher erforderlich ist.

Transportkosten für eine Palette in Abhängigkeit von der Distanz



- schwache Korrelation zwischen der Entfernung und den Transportkosten

Transportkosten in Abhängigkeit von der Palettenanzahl bei gleicher Route



$$\text{Transportpreis} = \begin{cases} P + P * R_1 * (n - 1), & \text{für } n \leq 6 \\ P + P * R_1 * 5 + P * R_2 * (n - 7), & \text{für } n > 6 \end{cases}$$

- P = Basis-Transportpreis pro Palette
- n = Anzahl der Paletten
- R1 = Preissteigerung ab der 2. Palette für jede weitere
- R2 = Preissteigerung ab der 7. Palette für jede weitere

Abbildung 4: Transportkosten Kalkulation

Im Use Case wurden mehrere Netzwerktypen systematisch verglichen. Dazu gehörten zentrale einstufige Strukturen, dezentrale einstufige Strukturen sowie mehrstufige Netzwerke mit Sammelzentren siehe Abbildung 3.

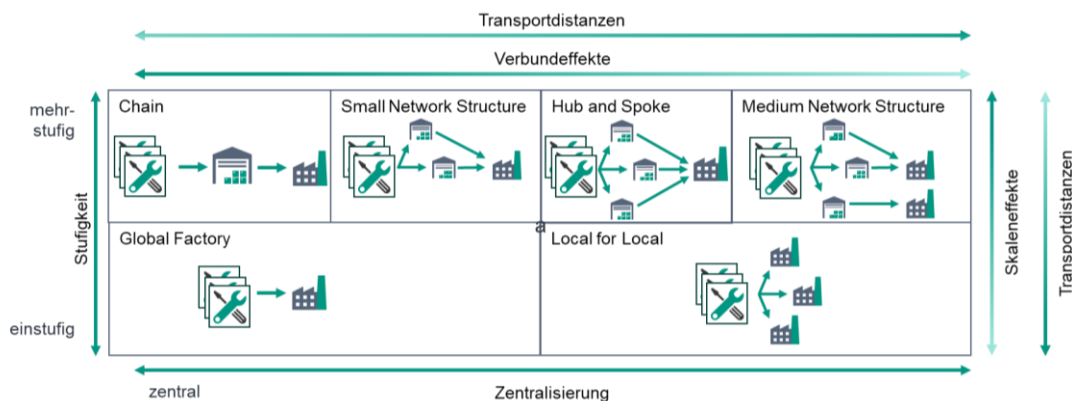


Abbildung 5: Mögliche Netzwerkstrukturen in zirkulären Netzwerken [in Anlehnung an Abele 2008]

Die Ergebnisse zeigen, dass das Szenario „Hub-and-Spoke“, also ein mehrstufiges Netzwerk mit drei Sammelstellen und einer zentralen Remanufacturing-Anlage in einem Standort mit geringen Prozess- und Personalkosten, die niedrigsten durchschnittlichen normierten Gesamtkosten aufweist. Dieses Szenario war damit im reinen Kostenvergleich die wirtschaftlich günstigste Konfiguration. Wesentliche Ursache dafür waren die deutlich geringeren arbeitskostengetriebenen Wiederaufbereitungskosten. Gerade diese erwiesen sich im Modell als zentraler Kostentreiber. Die Größenordnung der Unterschiede zwischen den Szenarien fiel im untersuchten Use-Case sehr deutlich aus. Die Kosten der Global-Factory-Struktur an einem Hochlohnstandort lagen im Durchschnitt bei mehr als dem Doppelten der Kosten einer „Hub-and-Spoke“-Struktur in Verbindung mit dem kostengünstigsten Standort. Auch das local for local Remanufacturing erwies sich um 73 % teurer als dieses Szenario. Die Chain-Struktur gehörte ebenfalls zu den kostengünstigen Varianten und lag nur relativ gering über dem Niveau von „local for local“, war aber weiterhin teurer als „Hub-and-Spoke“. Insgesamt zeigte sich, dass nicht allein die Grundstruktur des Netzwerks, sondern vor allem die Standortwahl der Wiederaufarbeitung einen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit hat.

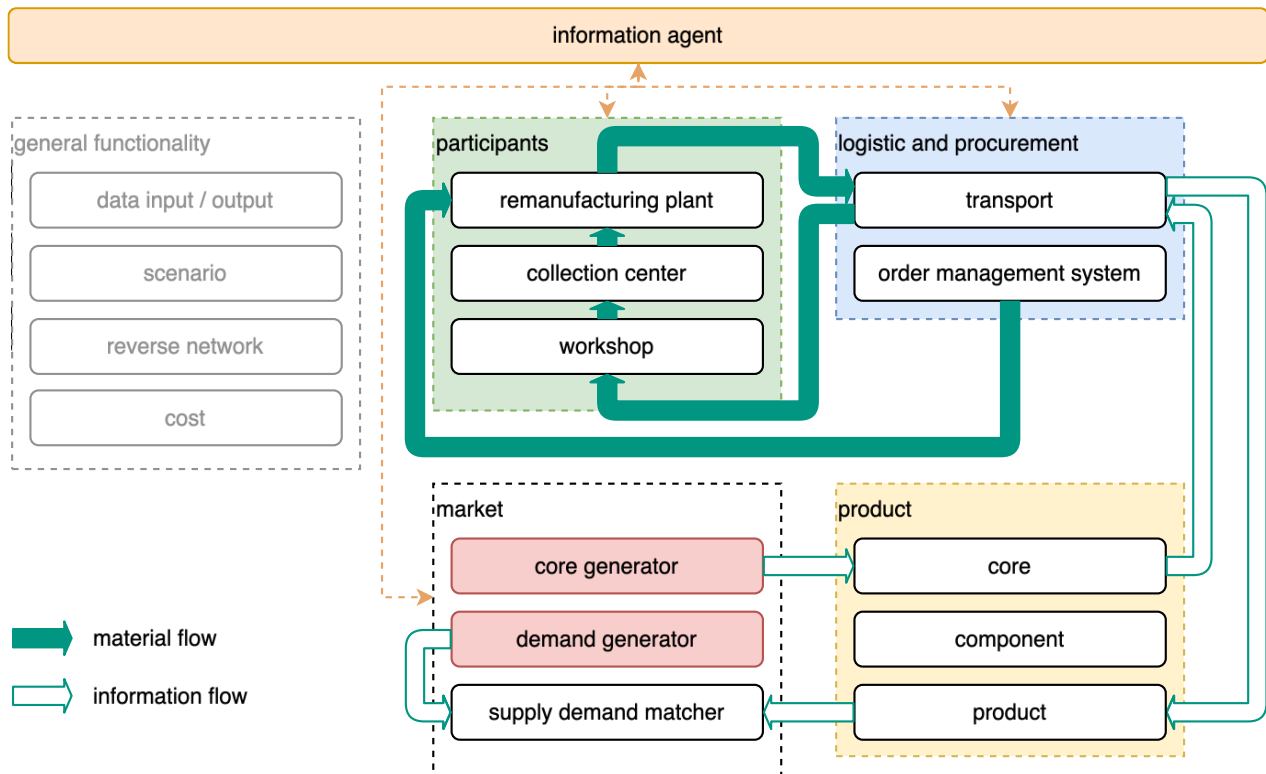


Abbildung 6: Darstellung des Simulationsmodells

Bei der Betrachtung der Kostenkomponenten wurde deutlich, dass sich die Szenarien in ihrer Wirklogik unterscheiden. Einstufige Netzwerke erwiesen sich insbesondere bei den Transportkosten als vorteilhaft, da sie ohne zusätzliche Umschlagpunkte auskommen. Mehrstufige Netzwerke konnten dagegen durch Bündelungseffekte eine höhere logistische Auslastung erreichen, verursachten jedoch zusätzliche Transporte. Dezentrale Netzwerke führten zu erhöhten Abschreibungskosten, weil zusätzliche Remanufacturing-Anlagen vorgehalten werden mussten. Die Lagerkosten unterschieden sich zwischen den Netzwerkkonfigurationen nur gering und wurden stärker durch das Rücklaufvolumen als durch die Struktur selbst beeinflusst. Daraus ergibt sich, dass die Kostenvorteile einzelner Netzwerktypen nicht pauschal aus ihrer Struktur folgen, sondern aus dem Zusammenspiel von Standortkosten, Transportlogik und Anlagenzahl.

Auch in ökologischer Hinsicht zeigten sich klare Unterschiede. Das einstufige zentrale Szenario wies die geringsten CO₂-Emissionen auf, da es ohne Zwischenstationen auskommt und zusätzliche Transportstufen vermeidet. Mehrstufige Netzwerke erzielten zwar eine bessere Palettenauslastung durch Transportbündelung, verursachten aber aufgrund zusätzlicher Transporte und längerer Wege höhere Emissionen. Der Unterschied in der CO₂-Bilanz zwischen ein- und mehrstufigen Netzwerken betrug im Modell allerdings nur etwa 5 %. Damit zeigte sich ein Zielkonflikt zwischen logistischer Bündelung und Emissionsvermeidung: Höhere Auslastung führt nicht automatisch zu geringeren Emissionen, wenn dafür zusätzliche Netzwerkstufen erforderlich sind.

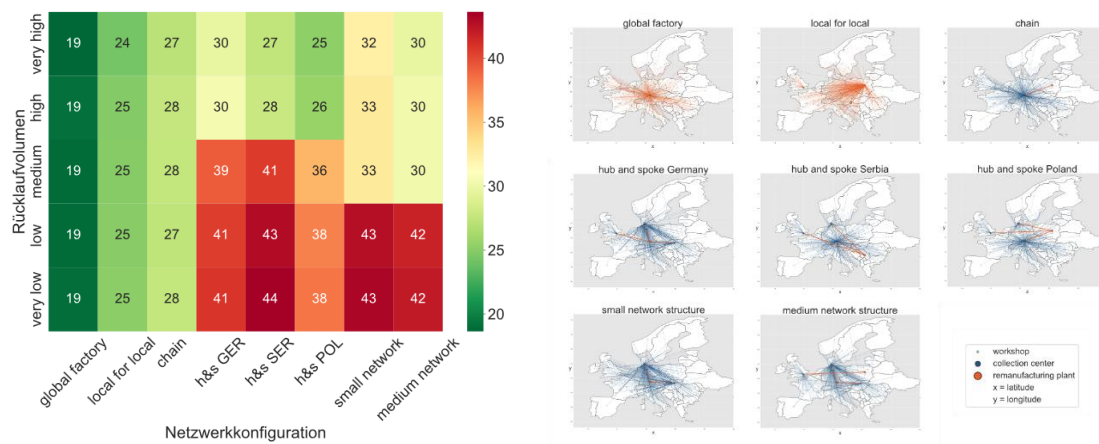


Abbildung 7: Einflüsse der Netzwerkstruktur auf den CO2 Fußabdruck aufgearbeiteter Produkte

In der Gesamtabwägung der Ergebnisse ergab sich daher eine differenzierte Bewertung. Kostens optimal war im Use Case das Szenario „Hub and spoke“ in Verbindung mit einem Niedriglohnstandort. Ökologisch am günstigsten war das einstufige zentrale Netzwerk. Unter kombinierter Betrachtung von Wirtschaftlichkeit und Umweltbelastung wurde das einstufige zentrale Szenario mit einem Standort in einem Land mit niedrigen Arbeitskosten als geeignetste Gesamtlösung für den Use Case eingeordnet. Damit wurde nicht nur gezeigt, welcher Netzwerktyp im untersuchten Fall besonders geeignet ist, sondern auch, welche Wirkzusammenhänge zwischen Netzwerkstruktur, Standortwahl und Zielgrößen bestehen.

1.5 Arbeitspaket 5: Multikriterielle Bewertung und Ableitung von Umfang und Zeitpunkt der notwendigen WSN-Anpassungen

Ziel des Arbeitspakets war die multikriterielle Bewertung möglicher Handlungsalternativen für die Einführung von Remanufacturing und die Ableitung einer fundierten Entscheidungsgrundlage für notwendige Anpassungen des Wertschöpfungsnetzwerks. Dafür wurde das in den vorangegangenen Arbeitspaketen aufgebaute simulationsbasierte Modell um eine systematische Optimierungs- und Bewertungslogik erweitert. Im Ergebnis entstand ein dreidimensionales Bewertungsmodell, das ökonomische, ökologische und soziale Zielgrößen gemeinsam berücksichtigt. In die Bewertung fließen damit neben Kosten und Emissionen auch soziale Gesichtspunkte wie Gesundheit, Sicherheit und Wohlstand ein. Für die eigentliche Mehrzieloptimierung wurde der NSGA II als geeigneter Algorithmus ausgewählt und in die bestehende Modellumgebung integriert. Damit konnte eine Methode realisiert werden, die mehrere Zielgrößen gleichzeitig verarbeitet und für KMU dennoch handhabbar bleibt. Die Ergebnisse zeigen, dass keine einzelne Netzwerkkonfiguration in allen Zielgrößen gleichzeitig optimal ist. Vielmehr wurde eine belastbare Pareto Front mit robusten Lösungen identifiziert, auf der jede Lösung einen tragfähigen Kompromiss zwischen Wirtschaftlichkeit, Umweltwirkung und sozialen Auswirkungen darstellt. Dabei bestätigte sich ein grundlegender Zielkonflikt: Die kostenminimalste Lösung ist nicht zwangsläufig die emissionsärmste und kann zugleich in Konkurrenz zu sozialen Zielgrößen stehen. Gerade dieser Befund ist für die Praxis wesentlich, da er deutlich macht, dass die Einführung von Remanufacturing nicht auf eine eindimensionale Kostenentscheidung reduziert werden kann. Vielmehr müssen Zielkonflikte transparent gemacht und bewusst abgewogen werden. Für die Zielsetzung des Arbeitspakets bedeutet dies, dass Umfang und Priorität notwendiger WSN Anpassungen systematisch aus den Simulationsergebnissen abgeleitet werden können. Anstelle einer pauschalen Empfehlung

wurde eine Methode geschaffen, mit der Unternehmen je nach Zielsystem und Randbedingungen diejenigen Anpassungen auswählen können, die im jeweiligen Fall den geeignetsten Kompromiss darstellen.

1.6 Arbeitspaket 6: Erstellung eines anwenderfreundlichen Softwaredemonstrators und Praxisleitfadens

Ziel des Arbeitspakets ist die Überführung der im Projekt entwickelten Methoden in anwenderfreundliche Werkzeuge und einen praxisnahen Leitfaden. Dieses Ziel wurde durch die Bereitstellung von zwei komplementären Softwaredemonstratoren sowie eines konsolidierten Praxisleitfadens erreicht. Damit wurden die Projektergebnisse nicht nur methodisch entwickelt, sondern in eine Form überführt, die von Unternehmen mit vertretbarem Aufwand genutzt und auf den eigenen Anwendungsfall übertragen werden kann.

Der erste Softwaredemonstrator adressiert die Auswahl und Priorisierung geeigneter Produkte für das Remanufacturing. Hierzu wurde ein Excel basiertes Tool aufgebaut, das technische, ökonomische, ökologische, rechtliche und soziale Kriterien integriert, die Remanufacturing Eignung von Produkten anhand eines Scores bewertet und durch finanzielle Kalkulationen ergänzt. Zusätzlich wurden konkrete Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Eignung bereitgestellt. Der Demonstrator wurde im Projekt um weitere zirkuläre Strategien erweitert und umfasst neben dem klassischen Remanufacturing auch Remanufacturing mit Produktupdate sowie die Integration von Gebrauchtkomponenten in die Neuproduktion. Ergänzend wurde eine Toolbox mit produktspezifischen Stellgrößen entwickelt, mit der Unternehmen gezielt Maßnahmen zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit ableiten können. Die Erprobung in industriellen Use Cases zeigte, dass das Instrument eine belastbare und praxisnahe Einschätzung der Produkteignung ermöglicht. Der Demonstrator wurde über die EU-Plattform Zonodo (<https://zenodo.org/records/17378229>) öffentlich bereitgestellt und bisher 75x heruntergeladen.

Evaluation criteria

Results:

Category:	REMANUFACTURING		REMANUFACTURING UPGRADE		REINTEGRATION		
	Score	Real value	Score	Real value	Score	Real value	
Technical criteria	0,000	3,550	0,000	3,400	0,000	5,450	1,090
Value density	Missing input	0,200	Missing input	0,150	Missing input	0,000	0,000
Identification, Inspection, Sorting	Missing input	0,250	Missing input	0,200	Missing input	0,350	0,070
Component condition	Missing input	0,450	Missing input	0,400	Missing input	0,500	0,100
Cleaning	Missing input	0,900	Missing input	0,900	Missing input	0,900	0,180
Disassembly	Missing input	0,450	Missing input	0,450	Missing input	0,450	0,090
Product structure	Missing input	0,450	Missing input	0,450	Missing input	0,450	0,090
Product complexity	Missing input	0,450	Missing input	0,450	Missing input	0,000	0,000
Lifespan and product development	Missing input	0,400	Missing input	0,400	Missing input	2,800	0,560
Economical criteria	0,000	1,050	0,000	0,900	0,000	0,950	0,190
Product criteria	Missing input	0,450	Missing input	0,400	Missing input	0,450	0,090
Market development	Missing input	0,250	Missing input	0,200	Missing input	0,250	0,050
Remanufacturing process	Missing input	0,225	Missing input	0,200	Missing input	0,125	0,025
Logistics and reverse logistics	Missing input	0,125	Missing input	0,100	Missing input	0,125	0,025
Legal criteria	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	Fulfilled	*WERT!
Ecological criteria	0,000	0,325	0,000	0,260	0,000	0,250	0,050
Social criteria	0,000	0,250	0,000	0,200	0,000	0,200	0,040
Criteria update remanufacturing			0,000	0,450			0,000
General			Missing input	0,304			0,000
Technological obsolescence			Missing input	0,045			0,000
Functional obsolescence			Missing input	0,045			0,000
Emotional obsolescence			Missing input	0,056			0,000
Criteria reintegration					Missing input	0,750	0,150
Overall Score	0,000	5,175	0,000	5,210	0,000	7,600	1,520
Normalized Overall Score	0,000	1	0,000	1	0,000	1	



Financial Calculation

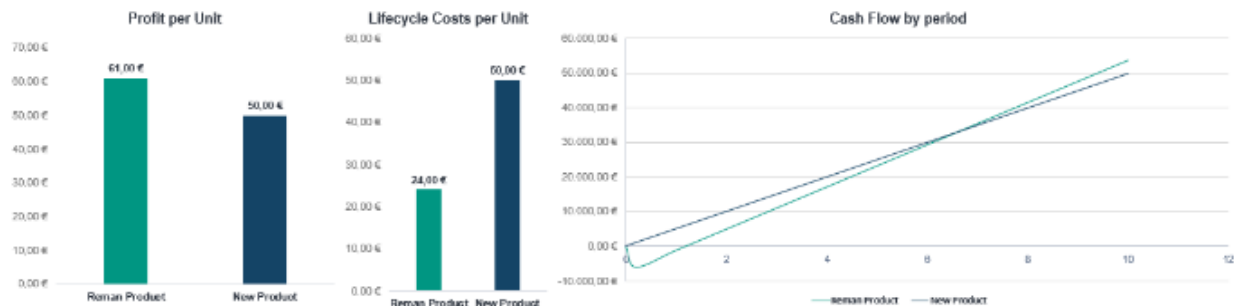


Abbildung 8: Ausschnitte des Softwaredemonstrators zur Remanufacturing Eignungsermittlung

Der zweite Softwaredemonstrator überführt die Ergebnisse der Arbeitspakete 4 und 5 in ein simulationsbasiertes Entscheidungswerkzeug zur Analyse von Rückführungs- und Remanufacturing Netzwerken. Die Modellierung wurde mit SimPy und ergänzenden Optimierungskomponenten umgesetzt, während die Parametrisierung der Szenarien über Excel erfolgt. Dadurch können Unternehmen unterschiedliche Netzwerkkonfigurationen, Rücklaufmengen und Einflussgrößen strukturiert eingeben und hinsichtlich Kosten, CO2 Emissionen und weiterer Zielgrößen bewerten. Die entwickelten Modellbausteine bilden zentrale Elemente des Systems ab, darunter Markt, physische Standorte, Logistik, Beschaffung, Produktfluss und die zugehörigen Informationsstrukturen. Damit entstand ein universell einsetzbarer Demonstrator zur Untersuchung und Bewertung alternativer Wertschöpfungsnetzwerke im Remanufacturing Kontext. Dieser Demonstrator wurde und wird zurzeit zur Planung von Rückführungsnetzwerken in Unternehmen verwendet.

Zur Sicherstellung der Anwendbarkeit wurden beide Demonstratoren in einem Praxisleitfaden zusammengeführt. Der Leitfaden führt schrittweise durch die Methode, beschreibt die relevanten Eingangsgrößen und Parameter, erläutert die Logik der Produktbewertung sowie der Netzwerkanalyse und stellt Arbeitshilfen in Form strukturierter Vorgehensweisen, Checklisten und Bewertungslogiken bereit. Inhaltlich verbindet er die Auswahl geeigneter Produkte mit der anschließenden Simulation, Optimierung und Bewertung von Rückführungsnetzwerken. Dadurch liegt nicht nur ein isoliertes Softwarewerkzeug, sondern ein konsistentes Unterstützungssystem für die Einführung von Remanufacturing in KMU vor. AP6 erfüllt damit die in

der Vorhabensbeschreibung geforderte prototypische Implementierung der Methode in einen Softwareemonstrator und einen KMU gerechten Praxisleitfaden.

1.7 Arbeitspaket 7: Begleitendes Projektmanagement sowie Dokumentation und Veröffentlichung

Ziel des Arbeitspakets war die organisatorische Begleitung des Vorhabens, die laufende Dokumentation des Projektfortschritts sowie die Unterstützung des Ergebnistransfers in die Wirtschaft. Dazu wurden über die gesamte Projektlaufzeit regelmäßige Abstimmungen zwischen Forschungseinrichtung und Unternehmen durchgeführt. Der projektbegleitende Ausschuss wurde fortlaufend eingebunden, sodass Zwischenergebnisse diskutiert, Anforderungen aus der Praxis aufgenommen und die Anwendbarkeit der erarbeiteten Methoden abgesichert werden konnten. Ergänzend zu den PA-Sitzungen fanden mehrfache bilaterale Arbeitstreffen mit Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses statt. Darüber hinaus wurden die Projektergebnisse systematisch dokumentiert, in mehreren projektbezogenen Arbeiten vertieft und für die Anwendung in Unternehmen aufbereitet. Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Veröffentlichung und Verbreitung der Ergebnisse. Hierzu zählen die Bereitstellung projektbezogener Informationen über die Kommunikationskanäle des wbk, die Veröffentlichung des Tools zur Bewertung der Remanufacturing Eignung sowie die Vorstellung von Projektergebnissen auf einer wissenschaftlichen Konferenz mit zugehöriger Publikation. Alle entsprechenden Maßnahmen sind im Kap. 6.1 aufgeführt.

2 Verwendung der Zuwendung

Die Zuwendung wurde zweckentsprechend zur Bearbeitung der in der Vorhabensbeschreibung definierten Arbeitspakete eingesetzt. Im Mittelpunkt standen dabei die Entwicklung einer KMU gerechten Methodik zur Einführung von Remanufacturing in globalen Wertschöpfungsnetzwerken, die Erarbeitung und Validierung der zugrunde liegenden Modelle sowie die Überführung der Ergebnisse in anwendungsnahe Demonstratoren und einen Praxisleitfaden. Die Mittel wurden insbesondere für wissenschaftlich technisches Personal und Hilfskräfte, für Literatur und Datenanalysen, für Experteninterviews und Unternehmensabstimmungen, für die Entwicklung und Erprobung der Bewertungs- und Simulationsmodelle sowie für projektbegleitende Dokumentations- und Transfermaßnahmen eingesetzt. Die beantragten personellen Aufwände umfassten 24 Personenmonate für wissenschaftlich technisches Personal sowie 6 Personenmonate für Hilfskräfte. Für das Projekt ist ein Mittelabfluss in Höhe von 194.092,33 € dokumentiert.

3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die geleisteten Arbeiten waren notwendig, da zum Projektbeginn keine integrierte, KMU gerechte Methode vorlag, mit der Unternehmen Remanufacturing geeignete Produkte auswählen, die Rückführung von Gebrauchsgütern systematisch gestalten und den Umfang notwendiger Anpassungen ihres Wertschöpfungsnetzwerks fundiert bestimmen konnten. Forschung und Praxis, dass suboptimale Einführungsstrategien zu erhöhtem Koordinationsaufwand und unzureichender Wirtschaftlichkeit führen können. Vor diesem Hintergrund war die Erarbeitung einer methodisch fundierten und zugleich anwendungsnahe Entscheidungsunterstützung erforderlich. Der gewählte Lösungsweg entspricht der Problemstruktur des Vorhabens, da er von der Produktperspektive über die Rückführungslogistik und das Beschaffungsmanagement bis zur simulationsbasierten Bewertung alternativer Netzwerkstrukturen reichte und damit die Einführung von Remanufacturing als zusammenhängende Gestaltungsaufgabe behandelte. Die Kombination aus Literaturanalysen, Experteninterviews, Fallstudien, methodischer Modellbildung, simulationsbasierter Analyse, multikriterieller Optimierung und Validierung mit Unternehmen des projektbegleitenden Ausschusses war geeignet, sowohl wissenschaftlich belastbare als auch praxisnahe Ergebnisse hervorzubringen. Dass keine inhaltlichen Änderungen der Zielsetzung erforderlich waren und keine relevanten konkurrierenden FE-Ergebnisse bekannt wurden, unterstreicht zusätzlich die Angemessenheit des eingeschlagenen Arbeitsprogramms. Die im Projektverlauf notwendig gewordene kostenneutrale Verlängerung war organisatorisch begründet und änderte nichts an der fachlichen Zielrichtung des Vorhabens. Sie diente dazu, die ursprünglich vorgesehenen Arbeitsschritte vollständig umzusetzen, entwickelte Methoden weiter, auch über die Vorhabensbeschreibung hinaus auszubauen und die bereits begonnenen methodischen Entwicklungen konsistent abzuschließen.

4 Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten

Der wissenschaftlich technische Nutzen der erzielten Ergebnisse liegt vor allem in der Entwicklung einer durchgängigen Methodik zur Einführung von Remanufacturing in globalen Wertschöpfungsnetzwerken. Das Vorhaben verbindet mehrere bislang häufig getrennt behandelte Ebenen, nämlich die Auswahl geeigneter Produkte, die Analyse und Gestaltung der Produktrückführung, die Entwicklung geeigneter Rückführungs- und Geschäftsmodellansätze, die simulationsbasierte Untersuchung alternativer Netzwerkstrukturen sowie die multikriterielle Bewertung von Anpassungsoptionen. Gerade diese Integration stellt einen wesentlichen innovativen Beitrag dar, da in der Vorhabensbeschreibung ausdrücklich herausgestellt wurde, dass eine solche KMU orientierte Methode bislang nicht vorhanden war. Die Ergebnisse schließen damit eine konkrete methodische Lücke zwischen strategischer Produktauswahl, logistischer Netzwerkgestaltung und operativer Entscheidungsunterstützung. Wissenschaftlich wurde dieser Beitrag durch mehrere Veröffentlichungen sichtbar gemacht. Siehe (Lachnit et al. 2024/1); (Lachnit et al. 2024/2); (Lachnit et al. 2025). Für die Bewertung der Remanufacturing Eignung von Produkten wurde ein umfassendes Kriterien und Scoringsystem entwickelt und in der Veröffentlichung „Comprehensive Assessment of Remanufacturing Suitability and Enhancement“ verdichtet. Dieses verbindet technische, wirtschaftliche, ökologische, rechtliche und soziale Kriterien mit einer finanziellen Kalkulation sowie Handlungsempfehlungen zur Verbesserung der Produkteignung. Für die Gestaltung zirkulärer Netzwerke wurde mit „Modelling and Analysis of Circular Production Network Structures“ ein simulativer Ansatz veröffentlicht, der unterschiedliche Netzwerktypen und Rücklaufvolumina systematisch vergleicht. Ergänzend wurden mit „Development and Assessment of First life Business Models for Lithium ion Batteries in the Circular Economy“ reflow generierende Geschäftsmodelle für Lithium Ionen Batterien entwickelt und bewertet. Damit wurden sowohl die methodischen Grundlagen als auch konkrete industriebezogene Anwendungskontexte wissenschaftlich aufgearbeitet (Lachnit et al. 2025).

Für KMU besteht der zentrale Nutzen darin, dass die Projektergebnisse den Einstieg in das Remanufacturing strukturiert und mit vertretbarem Aufwand unterstützen. Die in AP1 entwickelte Produktbewertung reduziert die Unsicherheit bei der Auswahl geeigneter Produkte, da sie eine nachvollziehbare Priorisierung auf Basis eines Excel basierten Tools erlaubt und zusätzlich konkrete Handlungsempfehlungen zur Erhöhung der Remanufacturing Eignung ausgibt. Für KMU ist dies besonders relevant, weil die Literatur gerade für diese Unternehmensgruppe auf Defizite bei Kapital, Informationen, methodischem Wissen und personellen Ressourcen hinweist. Durch die einfache Parametrierbarkeit, die Excel basierte Umsetzung und den begleitenden Leitfaden werden diese Hürden gezielt adressiert. Die Vorhabensbeschreibung stellt deshalb zu Recht die freie Verfügbarkeit und die niederschwellige Nutzbarkeit der Demonstratoren als wichtigen Hebel für die Wettbewerbsfähigkeit produzierender KMU heraus. Ein weiterer wesentlicher Nutzen liegt in der simulationsbasierten Untersuchung von Rückführungsnetzwerken. Die Arbeiten zeigen, dass die Wirtschaftlichkeit von Remanufacturing Netzwerken im Use Case in hohem Maß von standortabhängigen Wiederaufbereitungskosten und damit von Arbeitskosten beeinflusst wird, während Transportkosten zwar relevant, aber nicht der dominante Kostentreiber sind. In der simulativen Analyse erwiesen sich kostengünstige Konfigurationen insbesondere dann als vorteilhaft, wenn Remanufacturing Standorte in Ländern mit geringeren Lohnkosten verortet wurden. Gleichzeitig wurde deutlich, dass ökonomisch günstige Lösungen nicht automatisch die emissionsärmsten sind. Die Erweiterung um eine multikriterielle Optimierung mit ökonomischen, ökologischen und sozialen Zielgrößen verdeutlichte diesen Zielkonflikt zusätzlich und führte zu robusten Pareto Lösungen, die Unternehmen als belastbare Entscheidungsbasis dienen können. Für KMU

entsteht daraus ein praktischer Mehrwert, weil Umfang und Richtung notwendiger Netzwerkanpassungen nicht pauschal, sondern daten und modellbasiert abgeleitet werden können.

Auch wirtschaftlich ist der Nutzen der Ergebnisse hoch. Die Vorhabensbeschreibung begründet das Projekt mit den steigenden Anforderungen an Ressourceneffizienz, der Notwendigkeit resilienter und nachhaltiger Wertschöpfung sowie den besonderen Einführungshürden von KMU. In diesem Kontext ermöglicht IntroRe-manNet nicht nur die strukturierte Auswahl wirtschaftlich geeigneter Produktgruppen, sondern auch die Ermittlung geeigneter Rückführungsstrategien und die Bewertung der daraus entstehenden Kosten und Emissionen. Unternehmen erhalten dadurch eine fundierte Grundlage zur Verbesserung ihrer Ressourceneffizienz und zur Erschließung zirkulärer Geschäftsmodelle. In untersuchten Use Cases konnten bereits die Kosten der Rückführung und Aufarbeitung durch die entwickelten Methoden reduziert werden. Die Ergebnisse besitzen darüber hinaus industrielle Anwendungsmöglichkeiten in einem breiten Spektrum des Maschinen- und Anlagenbaus sowie angrenzender Branchen, da die entwickelten Demonstratoren bewusst branchenübergreifend und nicht exklusiv ausgelegt wurden.

5 Wissenstransfer in die Wirtschaft

Der Wissenstransfer in die Wirtschaft erfolgte maßgeblich projektbegleitend und in mehreren komplementären Formaten. Zentrale Transferkanäle waren die Sitzungen des projektbegleitenden Ausschusses, bilaterale Arbeitstreffen mit den beteiligten Unternehmen, die Erprobung und Diskussion der Zwischenergebnisse in industriellen Use Cases sowie die öffentliche Bereitstellung wesentlicher Projektergebnisse. Auf diese Weise wurden Anforderungen aus der Praxis früh aufgenommen, Zwischenergebnisse rückgekoppelt und die spätere Anwendbarkeit der entwickelten Methoden abgesichert. Ein weiterer Transferbaustein war die Veröffentlichung des Tools zur Bewertung der Remanufacturing Eignung über Zenodo im Juni 2024 sowie dessen Bewerbung bei Firmenbesuchen und diversen Austauschformaten. Parallel dazu wurden die Ergebnisse über den Internetauftritt des wbk und den Newsletter „Topics“ verbreitet. (Lachnit, 2025) Acht Unternehmen haben die entwickelten Tools bereits angewendet und durch ihre Rückmeldungen zu deren Weiterentwicklung beigetragen. Darüber hinaus lässt die bisherige Zahl von 75 Downloads darauf schließen, dass die Tools bereits auch in weiteren Unternehmen genutzt werden. Zusätzlich wird die wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit des Projekts dadurch sichtbar, dass Ergebnisse bereits in weiterführende Aktivitäten wie dem Projekt SPIRAL-UP eingeflossen sind. Insgesamt wurde der Wissenstransfer damit nicht nur über klassische Dissemination betrieben, sondern über direkte Anwendung, offene Werkzeuge, Praxisleitfäden und enge Unternehmenskooperationen systematisch in die Wirtschaft getragen.

6 Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

Ergänzend zu den bereits dargestellten Transferaktivitäten werden im Folgenden die durchgeführten und die nach Projektende vorgesehenen Maßnahmen zum Ergebnistransfer zusammengefasst. Dabei wird im Folgenden auf die während der Projektlaufzeit umgesetzten Aktivitäten und den geplanten weiteren Transfermaßnahmen eingegangen.

6.1 Durchgeführte Transfermaßnahmen (vom Projektstart bis zum Projektende)

Tabelle 01: So könnte eine Tabelle aussehen

Maßnahme	Ziel	Ort	Zeitraum
Sitzung 1 des PA und Dokumentation der Ergebnisse	Aufnahme der Anforderungen des PA & Projektvorstellung	Karlsruhe	05.10.2023
Wbk-Topics Beitrag (Frei zugängliche Informationsbereitstellung und Kontaktforum für Industrie und Forschung)	Umfassende Verbreitung der Ziele und erster Ergebnisse des Vorhabens unter den Partnern des wbk und des KIT	https://www.wbk.kit.edu/6373.php	12/2023
Erstellung einer Projektwebsite	Allgemeine Information	KIT wbk website	2023 - 2025
Mehrere LinkedIn Beiträge	Informationen zum Projektfortschritt	LinkedIn Account des KIT wbk	2023 - 2025
Öffentlicher Zugang zum erarbeiteten Tool zur Bewertung der Remanufacturing Eignung	Öffentlicher Zugang zum erarbeiteten Tool zur Bewertung der Remanufacturing Eignung	https://zenodo.org/records/12483041	06/2024
Sitzung 2 des PA und Dokumentation der Ergebnisse	Vorstellung und Diskussion des Projektfortschritts	Karlsruhe wbk/online	19.04.2024
Vortrag auf der GSCM - Global Conference on Sustainable Manufacturing sowie Veröffentlichung eines Papers	Vortrag, Diskussion und Veröffentlichung der in AP1 entwickelten Lösungen.	GSCM – Conference Siehe Lachnit, T. et al. (2024a)	10/2024
Vortrag auf der GSCM - Global Conference on Sustainable Manufacturing sowie Veröffentlichung eines Papers	Vortrag, Diskussion und Veröffentlichung der in AP4 entwickelten Lösungen	GSCM – Conference Siehe Lachnit, T. et al. (2024b)	10/2024
Sitzung 3 des PA und Dokumentation der Ergebnisse	Vorstellung und Diskussion des Projektfortschritts	Karlsruhe wbk/online	10.12.2024
Bilaterale Arbeitstreffen mit Unternehmen des PA	Gezielter Austausch von Wissen zu spezifischen Problemstellungen und Besprechung konkreter Arbeitsinhalte	Unternehmenssitz der PA-Mitglieder	Mehrfache Treffen über die Projektlaufzeit
Sitzung 4 des PA und Dokumentation der Ergebnisse	Vorstellung und Diskussion des Projektfortschritts	Karlsruhe wbk/online	03/2025
Präsentation der Ergebnisse auf der EPTS Konferenz 2025	Vortrag, Diskussion und Veröffentlichung der in AP2-5 entwickelten Lösungen.	EPTS – Conference Siehe Lachnit, T. et al. (2025)	09/2025
Durchführung von 18 Abschluss- und Studienarbeiten zu Fragestellungen innerhalb des Vorhabens in enger Kooperation mit den Unternehmen des PA	Vermittlung wissenschaftlicher Methoden und relevanter theoretischer Grundlagen	Karlsruhe / Unternehmensstandorte	2023 - 2025
Vorstellung der Projektergebnisse für deutsche KMU in China am GAMI	Praxisnahe Vermittlung der Forschungsergebnisse für KMU in China	Sozhou, China	August 2024

Publikation eines Praxisleitfadens und Zurverfügungstellung des Softwaredemonstrators	Öffentlicher Zugang zu den Projektergebnissen sowie Möglichkeit zur Anwendung der Methode inkl. Softwaredemonstrator in der Praxis	EU-Zonodo-Plattform: https://zenodo.org/records/17378229	2025
Sitzung 5 des PA und Dokumentation der Ergebnisse	Vorstellung und Diskussion des Projektfortschritts	Karlsruhe wbk/online	12/2025
Aufbau einer Remanufacturing Lernfabrik Schulung	Praxisnahe Vermittlung der erarbeiteten Inhalte	https://globallearning-factory.com/kreislaufproduktion/	2025

6.2 Geplante Transfermaßnahmen (nach Projektende)

Auch nach Projektende sind weitere Transfermaßnahmen vorgesehen, um die erarbeiteten Ergebnisse in Wissenschaft und Wirtschaft weiter zu verankern. Im wissenschaftlichen Bereich befinden sich derzeit noch zwei Veröffentlichungen (ein Konferenzpapier und ein Journal mit dem Titel „Development of Requirement Profiles to evaluate Second Life Business Models for Lithium-Ion Traction Batteries – A Use Case from the Construction Machinery Industry“) im Review Prozess, mit denen die im Vorhaben entwickelten methodischen Ansätze und Ergebnisse weiterverbreitet werden sollen. Darüber hinaus werden die Ergebnisse in ein Dissertationsvorhaben, welches für 2027 geplant ist einfließen. Damit wird die wissenschaftliche Sichtbarkeit des Vorhabens über die bereits erfolgten Publikationen hinaus weiter erhöht. Darüber hinaus fließen die im Projekt entwickelten Methoden, Modelle und Demonstratoren in weiterführende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten ein. Dies betrifft insbesondere neue Projektbeantragungen, in denen die Ergebnisse des Vorhabens aufgegriffen, weiterentwickelt und auf zusätzliche Anwendungsfelder übertragen werden. Auf diese Weise wird die im Projekt aufgebaute methodische Grundlage auch über das unmittelbare Projektende hinaus genutzt und fortgeführt. Im wirtschaftsnahen Transfer ist vorgesehen, die entwickelten Tools und Software-Demonstratoren weiterhin einzusetzen und zu verbessern, um Unternehmen bei der Einführung von Remanufacturing sowie bei der Verbesserung bestehender Remanufacturing Prozesse zu unterstützen. Insbesondere die Demonstratoren zur Bewertung der Produkteignung und zur Analyse von Rückführungsnetzwerken bieten eine geeignete Grundlage, um Unternehmen bei strategischen und operativen Fragestellungen zu unterstützen.

7 Literaturverzeichnis

Abele, E., Meyer, T., Näher, U., Strube, G., Sykes, R. (eds.): Global Production: A Handbook for Strategy and Implementation. Springer, Berlin Heidelberg (2008).

Lachnit, T., Vetter, I., Braun, C., von Glasenapp, T., Feng, J., Benfer, M. und Lanza, G. (2024): Comprehensive Assessment of Remanufacturing Suitability and Enhancement. Konferenzbeitrag, Global Conference on Sustainable Manufacturing (GCSM), 2024.

Lachnit, T., Deckert, A., Hörger, M., Gleich, K., Bail, F., Benfer, M. und Lanza, G. (2024): Modelling and Analysis of Circular Production Network Structures. In: Proceedings of the Global Conference on Sustainable Manufacturing (GCSM). DOI: 10.1007/978-3-031-93891-7_80.

Lachnit, T., Hartkorn, P., Rincke, F., Benfer, M., Miller, S., Weißer, N. und Lanza, G. (2025): Development and Assessment of First-life Business Models for Lithium-ion Batteries in the Circular Economy. [in Print] IEEE-Konferenzbeitrag, 2025.